



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

## **Recinto Universitario Simón Bolívar**

**Facultad de Electrotecnia y Computación**  
**Ingeniería Electrónica**

### **Método de Calibración Standalone para el Modelo de Propagación SPM en un sistema WCDMA-850MHz**

**Autores:**

Br. Rosa Idalia Muñoz Gutiérrez

Br. Kevin Moisés Castillo Mendieta

**Tutor:**

TeknL. Marco Antonio Munguía Mena

**Managua, Nicaragua, Julio del 2019**

# **DEDICATORIA**

Dedicamos esta tesis monográfica, primeramente a Dios que es nuestro Hacedor, fuente de gracias y virtudes inagotables, quien en su Divina Providencia y Misericordia nos ha concedido la vida y la salud para poder terminarla y ver su apoyo en cada una de las fases de la realización y escritura de este trabajo.

También dedicamos este trabajo monográfico a nuestros padres y a nuestras madres, personas de bien que amorosa y desinteresadamente nos han brindado su apoyo en cada uno de los días y noches que fueron necesarios para completar este escrito.

# **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar queremos agradecer a Dios por la vida brindada hasta este momento, por estar siempre con nosotros y darnos fuerzas, por la sabiduría e inteligencia que nos ha provisto para culminar este trabajo monográfico.

A nuestro tutor y profesor Marco Antonio Munguía Mena por su disposición, dedicación y orientación a lo largo de este proyecto. También al Profesor Fernando Antonio Flores Guido por su apoyo, disposición y contribución a este trabajo.

A familiares que nos han apoyado día a día y han contribuido muy positivamente al logro de esta etapa de nuestras vidas.

Queremos agradecer también a todos los que han compartido con cada uno de nosotros las alegrías y dificultades de este trabajo y se han atrevido a escuchar y aportar ideas muy valiosas.

# RESUMEN

---

Actualmente, toda herramienta de diseño, planificación y optimización de redes móviles celulares dispone consigo por defecto una gran variedad de modelos de propagación, sin embargo, estos modelos de propagación no vienen sintonizados o calibrados para las características propias de propagación donde se despliega la red.

En este trabajo monográfico tiene como objeto presentar a través de una herramienta de planificación y optimización un método de calibración Standalone para el modelo de propagación Standard Propagation Model (SPM) en un sistema WCDMA en la banda de los 850 MHz en la ciudad de Masaya, Nicaragua.

Con este método de calibración, lograremos un error mínimo entre la potencia de la señal predicha y medida. Esto hará que el modelo sea más preciso para las predicciones de señal recibidas. Y como resultado obtendremos un modelo de propagación más óptimo en relación con el que poseen las herramientas de planificación, lo que supone un parámetro clave para un dimensionado de la red eficiente.

En el desarrollo de este método de calibración se desarrollo una campaña de medición o Drive test para contar con información de la red 3G existente en la ciudad de Masaya y la información recaudada se procesó en la herramienta Actix Analyzer. Una vez obtenida las mediciones dadas por la herramienta de planificación y las mediciones del Drive test encontramos a través del algoritmo desarrollado el número de muestras iguales en términos de distancia porque las predicciones eran mayor que las mediciones. Como resultado los valores de Mean Absolute Error y la Standard Deviation sin calibración fueron 6.9721dBm y 9.2881dBm, con este resultado logramos ajustar los parámetros del SPM Model que nos permitieron obtener nuevas predicciones que también fueron comparadas con las mediciones logrando la reducción de un 98% del Mean Absolute Error que pasó a ser de 0.10018dBm ya con el modelo calibrado respectivamente.

# ABSTRACT

---

Currently, the entire design tool, planning and optimization of mobile networks provides us with a wide variety of propagation models, however, these propagation models are not tuned or calibrated for the characteristics of the propagation where the network is deployed. .

This monographic work aims to present through a planning and optimization tool an independent calibration method for the Standard propagation model (SPM) in a WCDMA system in the 850 MHz band in the city of Masaya, Nicaragua.

With this calibration method, achieve a minimum error between the predicted and measured signal strength. This will make the model more accurate for predictions of received signals. And as a result, we will obtain a more optimal propagation model in relation to the planning tools, which is supposed to be a key element for efficient network sizing.

In the development of this calibration method, a measurement campaign or Drive Test will be developed to have existing 3G network information in the city of Masaya and the information collected will be processed in the Actix Analyzer tool. Once the measurements were completed, the distance measurements were made, because the predictions were greater than the measurements. As a result of the values of Absolute Error and Standard deviation without calibration are 6.9721dBm and 9.2881dBm, with this result we managed to adjust the parameters of the Model SPM that allowed us to obtain new predictions that were also compared with the results achieving the reduction of 98% of the absolute error that happened to be 0.10018dBm already with the calibrated model respectively.

# ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria .....	I
Agradecimiento .....	II
Resumen .....	III
Abstract .....	IV
Índice General .....	V
Índice de Figuras .....	VII
Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Propuesta .....	2
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 General .....	3
1.2.2 Específicos .....	3
1.3 Justificación .....	4
Capítulo 2. Marco Referencial .....	5
2.1 Sistemas de Comunicación Móviles .....	5
2.1.1 Evolución de las comunicaciones Móviles .....	7
2.2 Red Móvil 3G .....	9
2.2.1 Arquitectura de la Red UMTS .....	10
2.3 Standard Propagation Model .....	13
2.4 Drive Test .....	15
Capítulo 3. Desarrollo .....	24
3.1 Creación del Escenario de Trabajo .....	24
3.1.1 Diseño de una red UMTS HSPA en ATOLL .....	24
3.1.2 Proceso de optimización de la red .....	28
3.1.3 Parámetros Iniciales .....	30
3.2 Drive Test.....	30
3.4 Calibración del SPM.....	32
Capítulo 4. Análisis y Resultados .....	37

4.1 Planificación de una Red en Atoll-----	37
4.2 Mediciones de Campo o Drive Test -----	40
4.3 Análisis de Datos del Drive Test-----	43
4.4 Resultados del Método de Calibración-----	47
Capítulo 5. -----	55
5.1 Conclusión -----	55
5.2 Recomendaciones-----	56
Capítulo 6. Bibliografía -----	57
Capítulo 7. Anexos -----	58
7.1 Anexo 1: Planificación de Vecinos -----	58
7.2 Mediciones de campo -----	59

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1. Sistema de red celular.....	5
Figura 2. Evolución de los Sistemas Móviles.....	7
Figura 3. Arquitectura detallada del Sistema UMTS .....	10
Figura 4. Diagrama de Bloques del Drive Test.....	16
Figura 5. Información obtenida del Drive Test .....	19
Figura 6. Equipo de drive Test .....	20
Figura 7. Diagrama de Conexión del Pilot RCU.....	21
Figura 8. Control de Red de Pilot RCU.....	22
Figura 9. Interfaz Pilot Watcher de Pilot RCU .....	23
Figura 10. Escenario Principal de Trabajo en Atoll.....	24
Figura 11. Mapa del escenario de Trabajo. Ciudad Masaya.....	25
Figura 12. Estaciones Bases y Zona de Cálculo.....	26
Figura 13. Estación Base y Computation Zone en Google Earth.....	31
Figura 14. Ruta del Drive Test. Ciudad Masaya.....	31
Figura 15. Red Movistar de la Ciudad de Masaya.....	37
Figura 16. Tabla de Transmisores de Atoll.....	38
Figura 17. Coverage by Signal Level Prediction Computation Zone.....	38
Figura 18. Histogram Computation Zone Coverage by Signal Level.....	39
Figura 19. Interfaz Pilot Fleet Unify.....	40
Figura 20. Pilot Fleet Unify reconoció el Equipo en Uso.....	41
Figura 21. Configuración del Equipo Pilot RCU.....	41
Figura 22. Recolección de Datos en Tiempo Real.....	42
Figura 23. Drive Test Completo.....	42
Figura 24. Interfaz inicial de Actix Analyzer.....	43
Figura 25. Analyzer Classic Interface de Actix Analyzer.....	44
Figura 26. Log File Cargado en Actix Analyzer.....	44
Figura 27. Display en Mapa de RSCP en Actix Analyzer.....	45
Figura 28. Display on Chart de las Mediciones del Drive Test.....	46
Figura 29. Predicciones Totales de Atoll.....	47
Figura 30. Mediciones del Drive Test.....	48
Figura 31. Número de predicciones Iguales a Mediciones.....	49
Figura 32. Comparación de Potencia recibida: Predicción vs Medición.....	50
Figura 33. Número de Predicciones igual a Mediciones Calibradas.....	52
Figura 34. Comparación de Potencia recibida Calibrada: Predicción vs Medición.....	53
Figura 35. Drive Test Vs Calibración .....	54
Figura 36. Planificación de Vecinas en Atoll.....	58
Figura 37. Nodo B en la ciudad de Masaya .....	59



# **1. INTRODUCCIÓN**

Durante mucho tiempo se ha vivido una revolución en el uso de las tecnologías de la información debido al nacimiento de las redes inalámbricas y sus numerosas ventajas asociadas frente a las redes cableadas: movilidad, flexibilidad, reducción de costos, etc.

El número de tecnologías móviles está creciendo rápidamente y su planificación está comenzando a ser cada vez más compleja. Por lo tanto, es necesario utilizar modelos de propagación con alta precisión en las herramientas de planificación que, junto con la precisión cada vez mayor de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) disponibles, constituyan una buena base para realizar predicciones de propagación realista y precisa.

Hoy en día, una de las ramas con más desarrollo en las comunicaciones inalámbricas es aquella relacionada con la telefonía móvil, la cual año tras año ofrece una mayor cantidad de servicios junto a elevadas tasas de transmisión debido a la alta demanda existente por parte de sus usuarios.

A través de una herramienta de planificación y optimización, se presentará el siguiente proyecto que tiene como objetivo Proponer un método de calibración Standalone para el modelo de propagación SPM en un sistema WCDMA-850 MHz en la ciudad de Masaya, Nicaragua.

Con este método de calibración, lograremos estimar un error mínimo entre la potencia de la señal predicción y medición. Esto hará que el modelo realice estimaciones más precisas para las predicciones de señal recibidas. Y como resultado obtendremos un modelo de propagación más óptimo en relación con el que poseen las herramientas de planificación, lo que supone un parámetro clave para un dimensionado de la red eficiente.

El presente trabajo se encuentra organizado en una serie capítulos enumerados los cuales se explican brevemente a continuación:

Capítulo 1: Introducción hacia las comunicaciones inalámbricas y se presenta la propuesta realizada del proyecto, así como las justificaciones y objetivos.

Capítulo 2: Formado por el marco referencial, en el cual se da una descripción general de los sistemas de comunicaciones móviles y su evolución a través de los años, enfocándose principalmente en el sistema de telefonía celular 3G

Capítulo 3: Describe la fase de desarrollo, enfocándose en el escenario de trabajo y sus características, así como en los parámetros y consideraciones realizadas.

Capítulo 4: Se presentan los resultados del proyecto, formado por las distintas simulaciones y predicciones realizadas así como los correspondientes análisis.

Capítulo 5: Formado por las conclusiones obtenidas por los resultados previamente analizados, así como líneas futuras de investigación.

Capítulo 6: Presenta la bibliografía empleada.

Capítulo 7: Anexos con información más detallada sobre algunos temas tratados.

### 1.1. Propuesta

En ese trabajo monográfico se pretende proponer un método de calibración Standalone para el modelo de Propagation SPM en un sistema WCDMA-850MHz sobre un entorno real, específicamente en la ciudad de Masaya. Lo que conlleva a identificar los problemas que afectan la red, de tal manera que interfieren con la calidad de servicio desde el operador hacia los clientes, y una vez identificados proceder con métodos los cuales mitiguen los efectos de dichos problemas y se consiga un funcionamiento cercano a óptimo en el desempeño de la red.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Proponer un método de calibración Standalone para el modelo de propagación SPM en un sistema WCDMA-850 MHz

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el funcionamiento y las principales características de un sistema de comunicaciones móviles 3G.
- Diseñar una red WCDMA-850 MHz con una herramienta radio frecuencia comercial para la obtención de predicciones.
- Realizar mediciones de campo en modo Idle para un sitio en la ciudad de Masaya para calibrar el SPM.
- Desarrollar un algoritmo basado en predicciones y mediciones para calibrar el modelo de propagación SPM.

### 1.3 Justificación

Actualmente, toda herramienta de diseño, planificación y optimización de redes móviles celulares dispone consigo por defecto una gran variedad de modelos de propagación, sin embargo, estos modelos de propagación no vienen sintonizados o calibrados para las características propias de propagación donde se despliega la red. Esto implica que las predicciones realizadas con herramientas de este tipo posean un margen de error significativo con respecto al comportamiento real que tendría la red en funcionamiento, por este motivo se hace necesario tener una etapa de optimización continua de la red.

Por tal motivo, en esta monografía nos hemos propuesto desarrollar un método de calibración Standalone para un sistema WCDMA que opera en la banda licenciada de los 850 MHz en la ciudad de Masaya, Nicaragua. Esta propuesta surge por la necesidad de mejorar la planificación y rendimiento de una red en donde los parámetros de los modelos empíricos se pueden ajustar o sintonizar según un entorno específico. El ajuste del modelo de propagación debe optimizar los parámetros del modelo para lograr un error mínimo entre la potencia de la señal predicha y medida. Esto hará que el modelo sea más preciso para las predicciones de señal recibidas. Y como resultado obtendremos un modelo de propagación más óptimo en relación con el que poseen las herramientas de planificación, lo que supone un parámetro clave para un dimensionado de la red eficiente.

## 2. MARCO REFERENCIAL

El siguiente capítulo contiene una descripción general sobre los sistemas de comunicaciones móviles, pasando por su evolución a través de los años y luego enfocándose principalmente en el sistema de telefonía celular 3G.

### 2.1 Sistemas de comunicaciones móviles

Los sistemas de comunicaciones móviles o telefonía móvil consisten en una forma de transmitir y recibir información usando ondas electromagnéticas a través del espacio libre (comunicación inalámbrica o vía radio) en donde uno o más usuarios pueden participar con una cierta movilidad siempre y cuando su desplazamiento se encuentre sobre el área de cobertura del sistema [1].

Una red móvil o red celular se estructura como una malla de celdas teóricamente de forma hexagonal las cuales abarcan diferentes áreas de cobertura, y en donde se dispone en cada una de ellas de una estación base que actúa como transceptor (transmisor y receptor) de las señales que van desde y hacia los móviles o terminales [2].

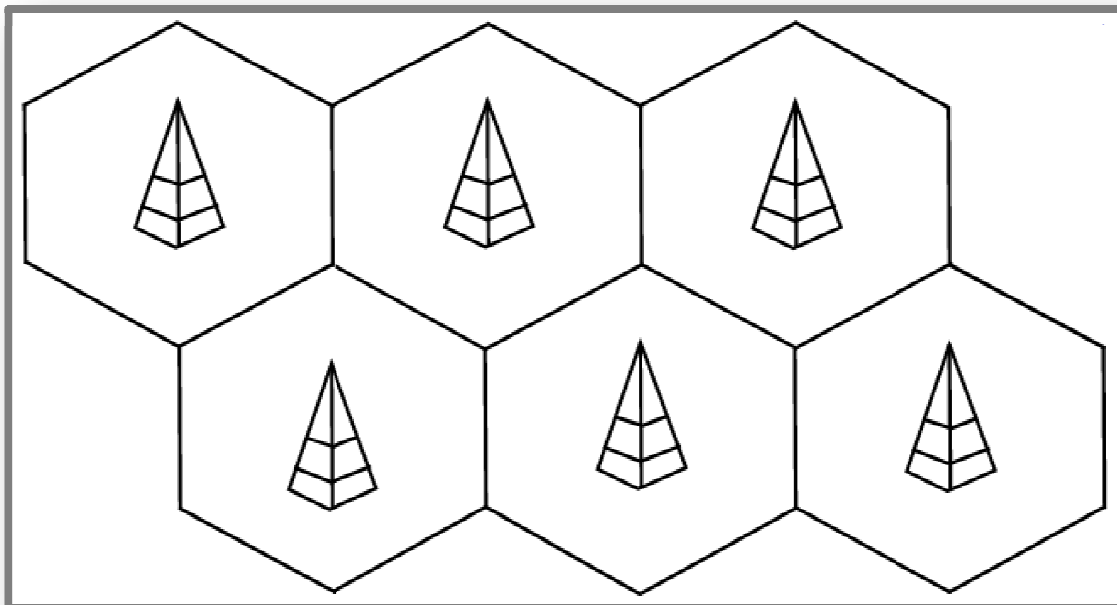


Figura 1. Sistema de red celular. [<http://falconvoy.blogspot.com.es>]

En este tipo de comunicación se establece el acceso mediante dos enlaces de radio: uno ascendente (*Uplink*) del terminal móvil hacia la estación base, y otro descendente (*Downlink*), en sentido inverso [1].

Para saber cómo es el funcionamiento y el proceso de optimización de una red móvil celular, es necesario entender lo siguiente:

Cada una de las estaciones base proporciona una cobertura dentro de un área **S** (Km<sup>2</sup>), y a su vez cada una tiene asignado un cierto ancho de banda **B** (Hz), que junto con una tecnología caracterizada por una determinada eficiencia espectral **E** (bits/segundo/Hz) debe poder soportar la demanda de tráfico para cada usuario **T** (bits/segundo/usuario) multiplicada por la cantidad de usuarios ubicados en la misma área de cobertura, representada por la densidad de usuarios **U** (usuarios/Km<sup>2</sup>). Por lo tanto, el dimensionado adecuado de la red se obtiene cuando la capacidad (bits/segundo) desplegada por cada estación base permite cubrir la demanda de tráfico de los usuarios, es decir, cuando:

$$\frac{BxE}{S} = UxT \quad (1)$$

A partir de la ecuación anterior, se puede ver que para optimizar la red y poder cubrir una mayor demanda de tráfico por parte de los usuarios, existen 3 opciones factibles:

- Aumentando **B**, es decir, asignando a cada celda una mayor cantidad de ancho de banda o espectro radioeléctrico.

Esta opción representa una solución muy complicada debido al impacto regulatorio que existe en el espectro como consecuencia de su poca disponibilidad, reflejando el alto costo que conlleva el pago de una licencia para utilizarlo, además de los permisos respectivos.

- Aumentando **E**, es decir, utilizando una tecnología espectralmente más eficiente.

Esta opción se refiere al uso de nuevas tecnologías capaces de mejorar la eficiencia espectral y de esta manera aprovechar el limitado espectro radioeléctrico con el que se dispone.

- Reduciendo **S**, es decir, desplegando un mayor número de estaciones base para reducir la superficie cubierta por cada una de ellas.

La reducción del área de cobertura de cada una de las estaciones base es la opción más fiable y de más corto plazo que tiene una operadora si desea brindar un mayor soporte a la demanda de tráfico ofrecida por los usuarios [4].

Distintos tipos de estaciones base han sido diseñadas para cubrir diferentes áreas de cobertura, generándose celdas de diferentes tamaños, las cuales son clasificadas como:

- **Macroceldas:** Con una cobertura de 2 a 20 Km, generalmente usadas en áreas rurales.
- **Microceldas:** Con una cobertura de 500 m a 2 Km, generalmente usadas en zonas urbanas.
- **Picoceldas:** Con una cobertura de hasta 500 m, generalmente usadas en calles o edificios.
- **Femtoceldas:** Con una cobertura de solo decenas de metros, fueron diseñadas para su uso en interiores, viviendas o edificios generalmente utilizando las líneas de acceso de banda ancha de los usuarios [3].

### 2.1.1 Evolución de las comunicaciones móviles:

Desde sus inicios a finales de los años 70, las comunicaciones móviles han revolucionado drásticamente las actividades que realizamos en nuestra vida cotidiana. Los teléfonos celulares se han convertido con el paso de los años en una herramienta primordial para la gente común y los negocios y, a pesar de que este sistema fue creado estrictamente para servicios de voz, hoy en día es capaz de brindar servicios de datos, audio, video, etc., a una gran velocidad.

Las comunicaciones móviles son usualmente divididas en generaciones, las cuales muestran su evolución siendo cada una más fiable y flexible que la anterior.

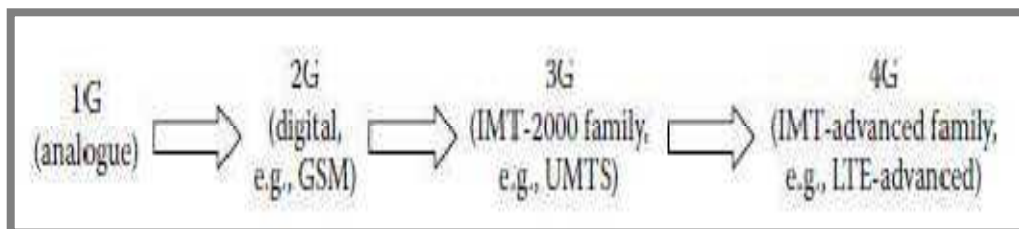


Figura 2: Evolución de los sistemas móviles [2]

## 2.2 Red móvil 3G

### Sistemas de 3ra Generación:

Los sistemas de 3ra Generación (3G) se comenzaron a desarrollar no mucho después de las redes 2G. Sin embargo en este caso se creó un concepto llamado IMT-2000, el cual conformaba una serie de requerimientos que determinaban si una tecnología podía llamarse o no de tercera generación (Velocidad máxima de 2 Mbps y de 384 Kbps en ambientes abiertos, por ejemplo).

A pesar de los requerimientos exigidos, existieron varios estándares propuestos por distintos competidores que intentaron que su tecnología sea la más predominante. Sin embargo, la que tuvo un mayor impacto fue UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) la cual comenzó principalmente en Europa con el uso de la tecnología W-CDMA (*Wide Code Division Multiple Access*), que se basa en el uso de secuencias pseudo-aleatorias y códigos ortogonales para enviar la información a distintos usuarios simultáneamente a través de todo el ancho de banda disponible.

En UMTS, además del uso de técnicas de división por duplexado de frecuencia (FDD), se comenzó a usar técnicas de división por duplexado de tiempo (TDD), en donde los enlaces de subida y bajada utilizan la misma banda de frecuencia pero con distintos intervalos de tiempo [3].

Con esta tecnología, la concepción de un móvil o celular fue radicalmente transformada, pasando a ser un sistema compatible con todo tipo de servicios multimedia y nuevas aplicaciones de banda ancha como videoconferencias o acceso a internet.

Hace relativamente pocos años este sistema ha evolucionado hacia lo que se llama comúnmente la generación “3.5G”, conformado por las tecnologías HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*), mejorando el enlace de bajada y de subida respectivamente, alcanzando velocidades de hasta 14 Mbps (enlace de bajada) y 5.7 Mbps (enlace de subida).

Posteriormente, aparece el HSPA+ como una mejora que incrementa aún más la tasa de transferencia con el uso de técnicas avanzadas de modulación como 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) [6].

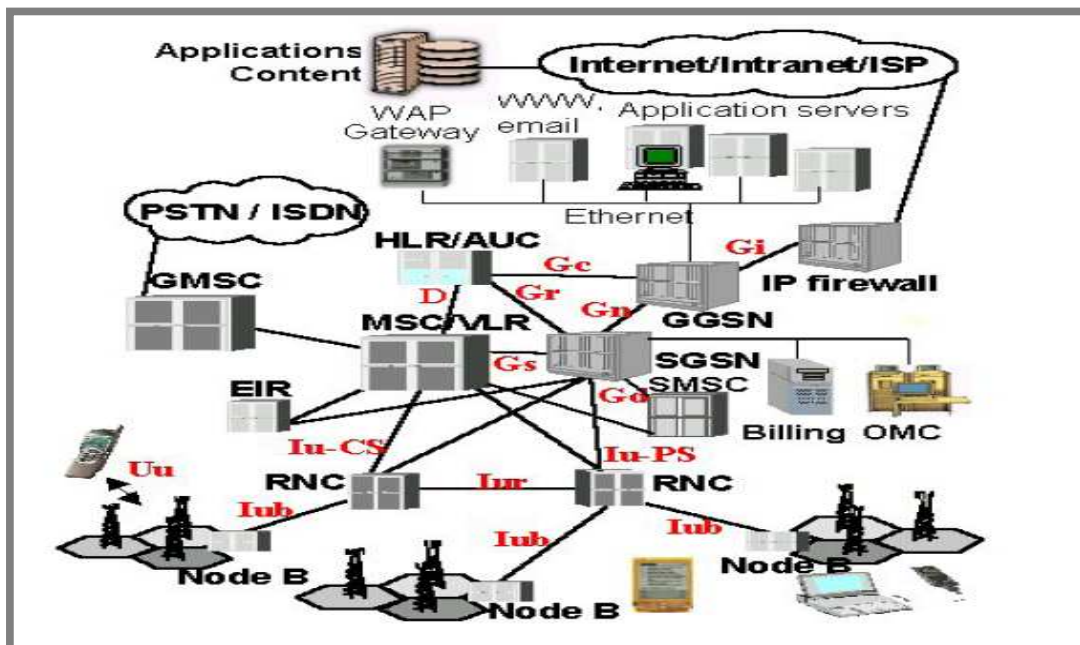
### **FUERZA DE LA SEÑAL 3G (UMTS/WCDMA)**

La fuerza de señal se mide en la red UMTS a través de la fuerza en la señal RSCP. Cada celda tiene un canal piloto que es usado por el teléfono móvil para sincronizarse. Este canal piloto tiene el nombre CPICH y tiene siempre la misma fuerza de señal. Cuando se quiere medir la señal radial para analizar la cobertura y la calidad en una red UMTS, debe basarse en el CPICH. La fuerza de señal (energía radial) recibida desde una celda se llama RSCP. RSCP es la energía que se desea amplificar para que el teléfono móvil pueda tener una comunicación con buena calidad y estabilidad. El parámetro de la calidad de señal, que es de extraordinaria importancia, se llama  $E_c/N_o$ . Éste es además una variable fundamental para asegurar la calidad de la llamada y de la transmisión de información. La calidad de la señal es usada en un UMTS/WCDMA para calcular el traspaso entre las estaciones bases y roaming hasta GSM. La calidad de la



señal es muy importante y determina con qué facilidad el teléfono móvil podrá leer las señales de radio que las estaciones bases envían. La carga instantánea de 3G (WCDMA) es la cantidad de personas que están hablando vía su móvil al mismo tiempo, los cuales están momentáneamente conectados a una misma celda; directamente relacionados con  $E_c/N_o$ . Esto significa que  $E_c/N_o$  cambia todo el tiempo de tal manera que  $E_c/N_o$  se deteriora cuando muchas personas llaman al mismo tiempo y viceversa [7].

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) presenta una arquitectura en la cual se describen 3 elementos principales, el UE o equipo de usuario, UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y la Red Central. La interfaz Uu se encuentra entre el UE y la Red UTRAN y entre la ésta y la red central o Core Network se encuentra la interfaz Iu. Cabe destacar que la interfaz entre el UE y la Red UTRAN es la tecnología WCDMA, es decir, la conexión entre el equipo de usuario y la red de acceso de Radio para UMTS es mediante la tecnología WCDMA.



[[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/fajardo\\_p\\_d/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf)]

## **Descripción de los elementos que forman parte de la red del sistema UMTS**

- Equipo de Usuario

El equipo de usuario o UE, llamado móvil, es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo desee y en el lugar donde existe cobertura. Ese puede variar en su tamaño y forma, sin embargo debe estar preparado para soportar el standard y los protocolos para los que diseñado.

- Interfaz Uu

Esta interfaz se encuentra entre el equipo de usuario y la red UTRAN.

- Red de acceso de Radio UMTS

UTRAN es el nombre de la nueva red de acceso de radio diseñada para el sistema UMTS. Tiene dos interfaces que lo conectan con la red central y el equipo de usuario. La interfaz lu y Uu respectivamente.

La UTRAN consiste de varios elementos, entre los que se encuentran los RCN (Radio Network Controller) y los Nodos B (en UTRAN las estaciones bases tienen el nombre de Nodo B). Ambos elementos forman juntos el RNS (Radio Network Subsystem).

Las interfaces internas de UTRAN incluyen la interfaz lub la cual se encuentra entre el Nodo B y el RCN, y la interfaz lur que conecta a los RCN entre sí.

- Radio Network Controller

Controla uno o varios Nodos B. el RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz luCS o con un SGSN mediante la interfaz luPs. La interfaz entre dos RNC's es lógica y es la interfaz lur, por lo tanto una conexión directa entre ellos no es necesario que exista. Si comparamos los RNC con la red de GSM, éste es comparable con el BTS (Base Station Controller).

Dentro de las funciones ejecutadas por el RNC están:

- ✓ Manejo de los recursos de transporte de la interfaz lu.
- ✓ Control de los recursos lógicos O&M del Nodo B.
- ✓ Manejo de la información del sistema y del horario de la información del sistema.
- ✓ Manejo de tráfico en los canales comunes.
- ✓ Combinación en la Macro diversidad y división de las tramas de datos transferidos sobre muchos Nodos B.

- ✓ Modificación del grupo activo de células lo que se traduce en un software Handover.
- ✓ Asignación de códigos de canalización en canales de bajada.
- ✓ Control de potencia de lazo abierto para enlace de subida.
- ✓ Control de potencia para el enlace de bajada.
- ✓ Control de admisión
- ✓ Manejo de los reportes.
- ✓ Manejo del tráfico en los canales compartidos.

- **Nodo B**

El nodo B es el equivalente en UMTS del BTS en GSM (Base Transceiver Station). El nodo B puede dar servicio a una o más células, sin embargo las especificaciones hablan de una sola célula por nodo B.

Dentro de las funciones ejecutadas por el nodo B están:

- ✓ Implementación lógica del O&M.
- ✓ Mapeo de los recursos lógicos del nodo B en los recursos de hardware.
- ✓ Transmisión de los mensajes de información del sistema de acuerdo con el horario determinado por el RNC.
- ✓ En el modo FDD, el control de potencia de lazo cerrado en el enlace de subida.
- ✓ Reportar las mediciones de interferencia en el enlace de subida y la información de la potencia en el enlace de bajada.

El Nodo B se encuentra en la capa física de la interfaz aérea, es por ella que además de las funciones que debe ejecutar por naturaleza, debe realizar las funciones propias de la capa física.

- **Interfaz lu**

Esta interfaz conecta a la red central con la red de acceso de radio de UMTS (URAN). Cabe mencionar que URAN es un concepto genérico y puede tener muchas implementaciones físicas. La primera a ser implementada es la UTRAN, la cual utiliza a la tecnología WCDMA como interfaz aérea.

Es la interfaz central y la más importante para el concepto 3GPP. La interfaz lu puede tener dos diferentes instancias físicas para conectar diferentes elementos de la red central, todo si se trata de una red basada en conmutación de circuitos o basada en conmutación de paquetes. En el primer caso, es la interfaz lu-CS la que sirve de enlace entre UTRAN y el MSC, y es la interfaz lu-PS la encargada de conectar a la red de acceso de radio con el SGSN de la red central.

Dentro de las funciones de esta interfaz, también se encuentra el servir como enlace BRAN (Broadband Radio Access Network). BRAN es otra implementación física al concepto genérico de UTRAN el cual conecta a la red central con la red de acceso de radio HIPERLAND2

- Red Central (Core Network)

La red central se encuentra formada por varios elementos que se muestran en la figura. De todos los mostrados solo se explicaran los dos de mayor interés, el MSC (pieza central en una red basada en conmutación en circuito) y el SGSN (pieza central en una red basada en conmutación de paquetes).

- MSC (Mobile Switching Center)

Como ya se mencionó, el MSC es la pieza central de una red basada en conmutación de circuito. El mismo MSC es usado tanto para el sistema GSM como por UMTS, es decir, la BSS de GSM y el RNS de UTRAN se pueden conectar con el mismo MSC. Esto es posible ya que uno de los objetivos del 3GPP fue conectar a la red UTRAN con la red central de GSM/GPRS. El MSC tiene diferentes interfaces para conectarse con la red PSTN, con el SGSN y con otros MSC's.

Las funciones principales del MSC se enlistan a continuación:

- ✓ Voceo
- ✓ Coordinación en la organización de las llamadas de todos los móviles en la jurisdicción de un MSC.
- ✓ Asignación dinámica de recursos.
- ✓ Registro de ubicación
- ✓ Función de interoperabilidad con otros tipos de redes
- ✓ Manejo de los procesos de Handover (especialmente del complejo proceso de handover entre sistemas)
- ✓ Colectar los datos para el centro de facturación
- ✓ Manejo de los parámetros para la encriptación
- ✓ Intercambio de señalización entre diferentes interfaces
- ✓ Manejo de la asignación de frecuencias en el área del MSC
- ✓ Control y operación de la cancelación del eco

En el MSC se realiza la última etapa del MM (Mobility Management) y del CM (Connection Management) en el protocolo de la interfaz aérea, así que el MSC encargarse de la dirección de estos protocolos o delegarse la responsabilidad a cualquier otro elemento de la red central.

En UTRAN, el desarrollo de todo el trabajo se centra en conservar las capas de administración en la movilidad (MM) y administración de la conectividad (CM) independientes de la tecnología de radio utilizada en la interfaz aérea. Esta idea se lleva a cabo en los conceptos AS Y NAS. El AS (Access Stratum) es una entidad funcional de UTRAN que incluye los protocolos de acceso de radio entre el UE y UTRAN, mientras que la NAS (Non Access Stratum) incluye los protocolos entre el UE y la CN. El AS termina en UTRAN mientras que el NAS UTRAN es transparente ya que termina en la CN.

- SGSN (Serving GPRS Support Node)

Es la pieza central de una red basada en conmutación de paquetes. El SGSN se conecta con UTRAN mediante la interfaz Iu-PS y con el GSM-BSS mediante la interfaz Gb.

El SGSN contiene la siguiente información:

- ✓ Información de suscripción
- ✓ IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
- ✓ Identificaciones Temporales
- ✓ Dirección PDP
- ✓ Información de ubicación
- ✓ La célula o el área en la que está registrada el móvil
- ✓ Número VLR

## 2.3 Standard Propagation Model

El modelo de propagación estándar considera para calcularla pérdida por trayectoria, los siguientes elementos: frecuencia de operación, tipo de área (urbana, suburbana, rural etc.), geografía del terreno (relieve, vegetación, clima etc.) y la altura de la antena del Tx y Rx. El SPM es adecuado para tecnologías tales como: GSM 900/1800 MHz, UMTS, CDMA2000, WIMAX, WI FI Y LTE, se emplea para predicciones con distancia máxima de hasta 20 km y frecuencia de operación dentro 150-3500 MHz. El SPM se basa en la siguiente fórmula:

$$PR = PTX - PLOSS \quad (2)$$

$$PLOSS = K1 + k2 \log(d) + K3 \log(HT_{xeff}) + K4 * diffractionLoss + K5 \log(d) * \log(HT_{xeff}) + K6(HR_{xeff}) + K7 \log(HR_{xeff}) + Kclutter * f(clutter) + K hill, LOS \quad (3)$$

Siendo:

P R: potencia recibida (dBm)

P Tx: potencia transmitida (EIRP) (dBm)

K 1: constante de offset (dB)

K 2: factor de multiplicación de log (d)

d: distancia entre el transmisor y el receptor (m)

K 3: factor de multiplicación de log (HTxeff)

H Txeff: altura efectiva de la antena transmisora (m)

K 4: factor de multiplicación de la difracción calculada. K4 debe ser un número positivo.

DIFRACCIÓN: pérdida debido a la difracción de más de una trayectoria obstruida (dB)

K 5: factor multiplicación para log (HTxeff) log (d)

K 6: factor multiplicación de HRxeff

K 7: factor de multiplicación de log (HRxeff)

H Rxeff: altura de antena receptora (m)

K clutter: factor de multiplicación de f (clutter)

F (clutter): promedio de las pérdidas ponderadas en el clutter

*K hill, LOS*: factor correctivo para colinas (=0 en caso de NLOS)

Como podemos observar la fórmula del SPM define la variación entre la potencia de transmisión y la potencia de recepción considerando todas las pérdidas como elemento de radiación y geografía del terreno durante el desplazamiento de la onda. El SPM para sus cálculos utiliza la pérdida por difracción donde analiza punto a punto la trayectoria entre el Tx y el Rx identificando las pérdidas causadas por los obstáculos principales. [6]

## 2.4 Drive Test

Todo buen diseño de RF, después de desplegado debe ser evaluado. Hay algunas maneras de hacer esto, por ejemplo a través del análisis de KPI (Key Performance Indicator) o por las herramientas de predicción y la interferencia de la señal. Otra forma muy común y eficiente para evaluar la red está llevando a cabo una Drive Test. Pero ¿qué es?

El nombre es intuitivo: un recorrido de prueba. El Drive Test es un examen efectuado en las redes celulares, independientemente de su tecnología (GSM, CDMA, UMTS, LTE, etc.). Medios para recoger datos sobre la circulación de vehículos. Su variación también ha definido de prueba de paseo intuitivo, o caminar para recoger datos para las áreas de interés [7].

Los análisis de un Drive Test son fundamentales para el trabajo de cualquier profesional en el campo de las TI y Telecom, que comprenden dos fases: la implantación de la recogida de datos y el análisis de los datos recogidos.

Aunque a través del análisis de KPI se pueden identificar problemas tales como la interrupción de llamadas, entre otras, las pruebas de la unidad permiten un análisis más profundo en el campo. La identificación de las áreas de cobertura de cada sector, la interferencia, la evaluación de cambios en la red y otros parámetros.

Entonces ¿Sabremos más sobre esta técnica, y sabemos lo que podemos hacer con ella?

### **¿Qué es el Drive Test?**

Drive Test, como ya se mencionó, el procedimiento consiste en realizar una prueba de conducción. El vehículo en realidad no importa, usted puede hacer una prueba para conducir en una motocicleta o una bicicleta. Lo que importa es el hardware y el software utilizado en la prueba [7].

Básicamente, para llevar a cabo una prueba de conducción necesitamos:

- Un PC portátil - o hardware similar
- Con una colección de software instalado
- Una clave de seguridad - Dongle - común a este tipo de software

- Por lo menos un teléfono móvil
- Un GPS
- Y un Scanner - opcional

También es común el uso de adaptadores y / o centros que permiten la interconexión de todo el equipo correcto.

El principal objetivo de la prueba es recopilar los datos, para poderlos ver y analizar en tiempo real (en vivo) durante la prueba, lo que permite una vista de rendimiento de la red en el campo. Los datos de todos los equipos se agrupan por el software de recogida y es almacenada en uno o más archivos de salida.

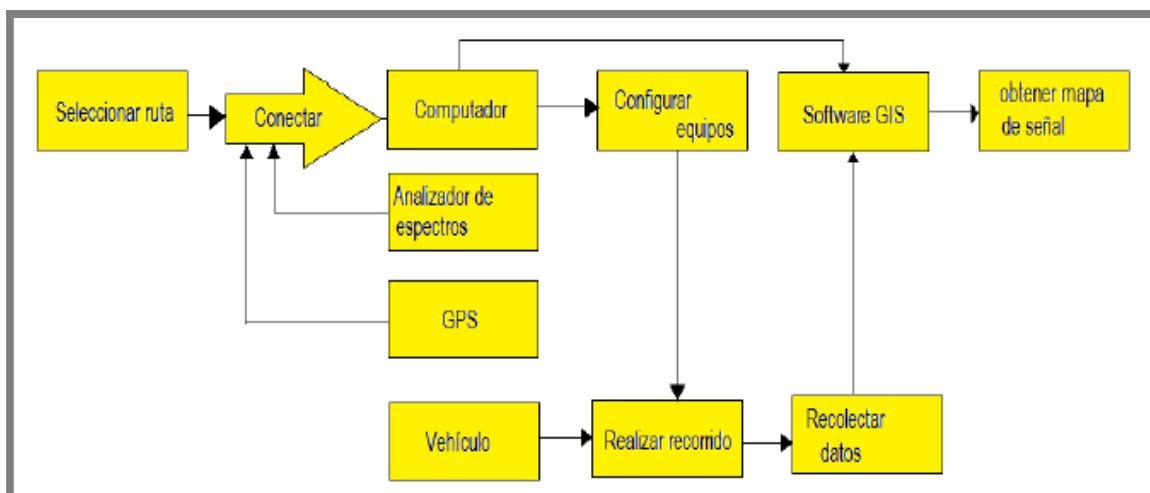


Figura 4. Diagrama de Bloques del Drive Test

El mínimo necesario para llevar a cabo una Drive Test, simplemente, es un dispositivo móvil con un software de recogida y un GPS. En la actualidad, existen teléfonos celulares que hacen todo esto. Ellos tienen un software interno de GPS, así como una colección específica. Son muy prácticos, pero todavía son muy caros.

### Horario del Drive Test

Una vez más dependiendo de la finalidad, la prueba se puede realizar en diferentes momentos - día o de noche.

Una Drive Test llevadas a cabo durante el día muestra las condiciones reales de la red - sobre todo en relación con el aspecto de la carga de la misma. Por otro lado, una Drive Test realizada en la noche le permite hacer, por ejemplo, pruebas de transmisores sin afectar a la mayoría de los usuarios.



Por lo general se lleva a cabo en la noche las actividades de Drive Test de diseño del sistema, por ejemplo, con la integración de nuevos sitios. Y el Drive Test se aplica a día de análisis de rendimiento y mantenimiento.

## Tipos de llamadas

El Drive Test se realiza de acuerdo con las necesidades y los tipos de llamadas son la misma prueba que admite la red, y pueden ser llamadas de voz, datos, video, etc. Todo depende de la tecnología (GSM, CDMA, UMTS, etc.), y el propósito de la prueba, como siempre.

Una Drive Test típico utiliza dos móviles. Hacer una llamada de móvil (CALL) por un número determinado de vez en cuando, situado en la colección de software. Y el otro modo libre o en espera, es decir, pero no en una llamada. Con esto, recopilamos los datos específicos de CALL y IDLE modos de dispositivos en la red.

La prueba (CALL) pueden ser de dos tipos: corto o largo plazo.

Llamadas cortas debe durar el usuario medio de una conexión, un valor de referencia buena es de 180 segundos. Encaminado a comprobar si las llamadas se están estableciendo y terminado con éxito (es una buena manera de comprobar también el tiempo de configuración de red).

Las llamadas de larga sirven para verificar que los traspasos (la continuidad entre las células) de la red están trabajando, las llamadas es decir, no debe caer.

## Tipos de Drive Test

La calidad de una red celular, es determinada por el grado de satisfacción del usuario de la red. Para determinar los distintos parámetros de la red, se hace uso de los siguientes tres tipos de Drive Test:

- Scanning

Es el Drive Test más simple y consiste en la medición del nivel de potencia de las portadoras que atienden una región. Este tipo de medición se utiliza para determinar las zonas donde se presenta interferencia co-canal e interferencia de canal adyacente. El Scanning se puede desarrollar a cualquier hora del día, ya que no afecta el tráfico generado por los usuarios en la zona. En las ciudades este tipo de medición debe de hacerse cuadra a cuadra, en lo posible, con el fin de recolectar el mayor número de muestras, que permitan hacer un análisis completo del estado de la red. [8]

- Benchmarking

Este tipo de medición es muy utilizado por los operadores, consiste en comparar el desempeño de la red celular de un operador con el de sus competidores. Para realizar este tipo de mediciones se requiere de un equipo que cuente con un terminal para cada operador, estos se deben encontrar en igualdad de condiciones, por lo general se ubican en la parte posterior del vehículo. Los terminales son controlados por un dispositivo que genera llamadas automáticamente hacia unas líneas fijas, las cuales están conectadas a un terminal que responde automáticamente y envía una grabación de voz la cual, es analizada y calificada por el dispositivo; los datos son almacenados en la unidad de disco duro. [8]

- Drive Test Simple

Consiste en la verificación de los indicadores de desempeño de la red celular. También se requiere de un teléfono móvil que genere llamadas automáticamente a otro destino, por lo general una línea fija, para que los valores capturados no se vean afectados por un mal desempeño de la región de la red donde se encuentra el destinatario. [7]

¿Y qué se obtiene?

¿Qué es lo que realmente está recogido?

Si los datos han sido recogidos, podemos hablar de ellos. Y para variar, dependiendo de las instalaciones utilizadas y el propósito de Drive Test.

En el caso de los muebles, se recogen todos los mensajes intercambiados entre los sitios y lo mismo con todas las capas de información - incluso si usted no sabe mucho de él. Es porque en la mayoría de los casos más críticos, estos datos pueden ser enviados a laboratorios para su análisis y mejor preparados de profundidad.

Si se usa un escáner, también tenemos sitios de información que no se "ven" los muebles.

Por supuesto, todo es configurable, pero siempre es bueno utilizar la configuración por defecto, y grabar todo lo que es posible.

Toda la información se almacena con sus respectivos datos Fecha y hora, así como su posición geográfica.

Un ejemplo típico de la salida de datos se muestra a continuación.

date_time	latitude	longitude	signal_level	best_server	...
10/03/2011 23:54	37.379242	-122.088951	-85.56	115	...
11/03/2011 23:55	37.379242	-122.088951	-86.63	115	...
12/03/2011 23:56	37.379242	-122.088951	-86.62	115	...
13/03/2011 23:57	37.379242	-122.088951	-84.9	115	...
14/03/2011 23:58	37.379234	-122.088973	-89.5	89	...
15/03/2011 23:59	37.379234	-122.088973	-84.76	37	...
17/03/2011 00:00	37.379211	-122.088988	-86.02	63	...
24/03/2011 00:07	37.379176	-122.088592	-85.92	115	...
25/03/2011 00:08	37.379188	-122.088469	-80.81	89	...
26/03/2011 00:09	37.379246	-122.088336	-72.8	37	...
...	...	...	...	...	...

Figura 5. Información obtenida del Drive Test [<http://www.telecomhall.com/es/que-es-drive-test-testing-de-rf.aspx>]

## Equipos y Software

La gran mayoría de la colección de software (o transformación) o tiene algún tipo de software que en conjunto también se hace el análisis. Estos se llaman post-procesamiento de software. Cada software de post-procesamiento tiene sus pruebas específicas, y la cantidad de datos (mediciones) es enorme, que puede ser de gran ayuda para resolver problemas muy concretos. Estas herramientas se presentan los datos en tablas, mapas y cuadros comparativos para ayudar en la toma de decisiones.

El equipo utilizado en este proyecto para la realización de la prueba del Drive Test fue PILOT RCU.



Figura 6. Equipo de drive Test [[www.dingli.com/?view=products&pk=21](http://www.dingli.com/?view=products&pk=21)]

Pilot RCU es un equipo autónomo de colección de datos, usado principalmente para monitoreamiento de la calidad de las redes y verificación de servicios a largo plazo. Es una solución multi-tecnología que puede ser configurado acorde a las combinaciones tecnológicas preferidas, soportando 8 módulos para colección de datos y uno para transmisión. Esto significa pruebas simultaneas de Redes 2G/3G/4G o cuatro pruebas internas independientes MOS. [9]

Pilot RCU está habilitado para probar y transmitir datos continuamente sin ninguna intervención sobre sitios. Puede ser desplegado en cualquier vehículo para pruebas de calle y monitoreamiento o soportado en sitios estáticos e.g hotspots o en edificios. Configuraciones Pilot RCU, pruebas de servicios, colección de datos y métodos de carga son definidos por los usuarios, establecido vía Web-Cliente pantalla simple (desde Pilot Fleet Unify). La colección de datos es remotamente cargado por el servidor Pilot Fleet Unify para monitoreamiento en tiempo real y análisis estadísticos que pueden ser hechos por los usuarios con acceso web.

La prueba de datos es almacenado localmente en el Pilot RCU y subidos a una bases de datos central para su inmediato y subsecuente procesamiento. Los parámetros vitales interpretados pueden ser acezados en tiempo real a través del Pilot Fleet Unify Web-Cliente, permitiendo la visualización inmediata del estado del sistema.

### **Características principales del Producto**

#### **Sondeo portable y autónomo de medida de datos**

Pilot RCU está diseñado con módulos de pruebas flexibles e intercambiable tecnología para la colección de datos autónomo sin supervisión. Lo portable y compacto permite que el producto sea fácilmente desplegado para pruebas en la calle y de interior (e.g Hotspots estacionarios). [9]

### Configuración y administración Remota

Pilot RCU es la prueba autónoma remota y sondeo de medidas ofrecidas con el sistema Pilot Fleet Unify. La configuración de la prueba, Prueba regional, subida de datos, sondeos de administración y estados de monitoreamiento pueden ser remotamente hechos a través de Pilot Fleet Unify. Toda colección de datos será cargada por el sistema Pilot Fleet Unify para su almacenamiento, procesamiento automático, análisis y reporte. [9]

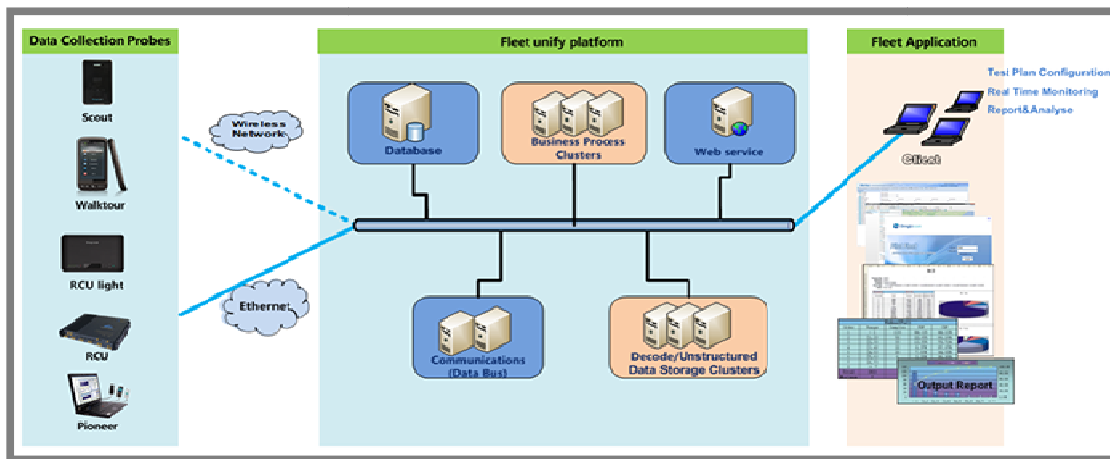


Figura 7. Diagrama de Conexión del Pilot RCU [www.dingli.com/?view=products&pk=21]

### Control de Red y Celda para pruebas de Servicio

Funcionalmente el control permite que el modulo de prueba sea cerrado sobre una Acceso Tecnológico de Radio (ATR) para pruebas y medidas en una ATR dedicado. [9]

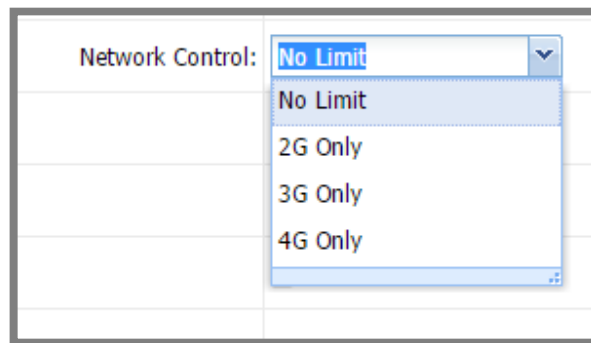


Figura 8. Control de Red de Pilot RCU

### Procesamiento de Datos Potentes

Subida- 8 canales LTE pruebas de servicios de datos pueden ser hechas con cuatros núcleos (Quadcore) Pilot RCU. [9]

### Tecnologías

LTE-A  
TDD-LTE  
FDD-LTE  
WCDMA, HSPA  
TD-SCDMA  
GSM

### Beneficios

Mejorar eficientemente el trabajo por dirección y configuración de datos remotos.  
Continua y estable operación sin atención manual.  
Provee grandes soluciones para varias pruebas en diversos escenarios.  
Inversión sobre una robusta y eficiente solución para largo tiempo de uso  
Ahorrar en OPEX para extensivas colecciones de datos manual y analizamiento.

### Producto Opcional Complementario

#### Pilot Watcher

Pilot Watcher es una solución basada en software que se utiliza para supervisar localmente el rendimiento y la medición de los módulos de prueba del equipo de medición remota DingLi. Pilot Watcher se ejecuta en una tableta Android y se puede conectar a una piloto RCU o Pilot Scout a través de WiFi (a través de un hotspot dispositivo) para el control de pruebas de servicio en tiempo real. Los usuarios pueden monitorear los parámetros de los módulos de prueba en el sitio, los eventos, la puntuación MOS, las alarmas, las rutas de prueba basadas en GPS, los planes de prueba, etc., y reiniciar el dispositivo Piloto RCU a través de Pilot Watcher.

Pilot Watcher sólo se puede conectar a un equipo de prueba para la supervisión al mismo tiempo. [9]

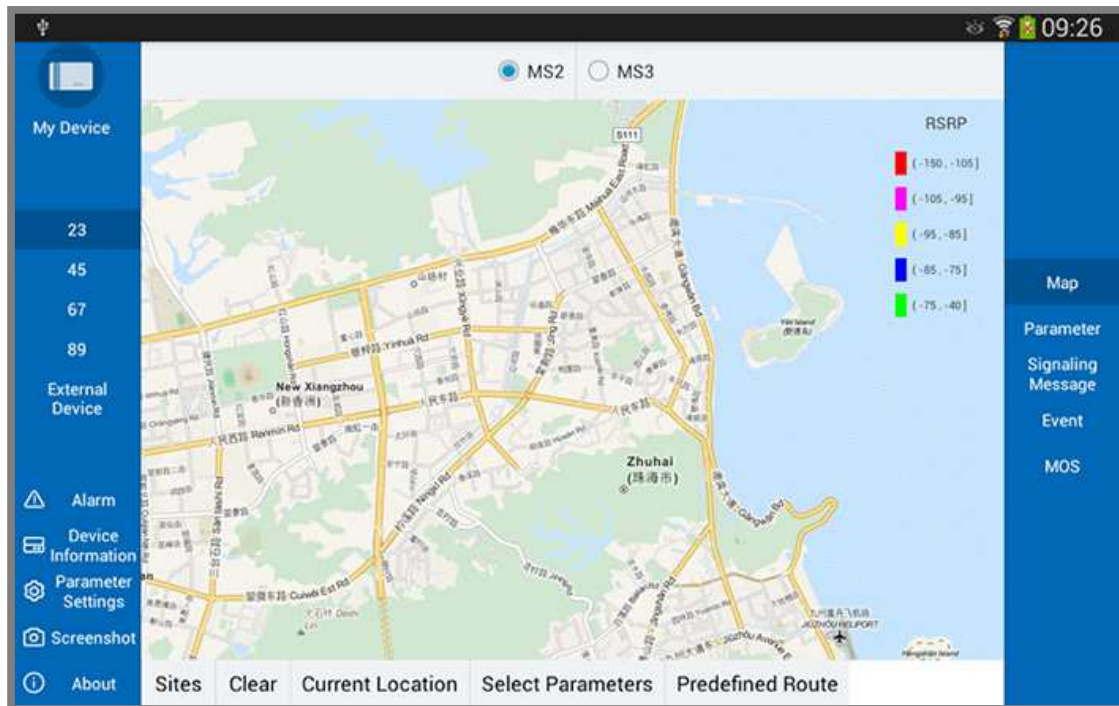


Figura 9. Interfaz Pilot Watcher de Pilot RCU [[www.dingli.com/?view=products&pk=21](http://www.dingli.com/?view=products&pk=21)]

## 3. DESARROLLO

### 3.1. Creación del Escenario de Trabajo

A continuación se verán los puntos más relevantes a la hora de crear el escenario de trabajo:

#### 3.1.1. Diseño de una red UMTS HSPA en ATOLL

Para iniciar el desarrollo de este trabajo, se procedió a crear un nuevo proyecto a partir de una plantilla definida en ATOLL para sistemas de redes celulares UMTS HSPA.

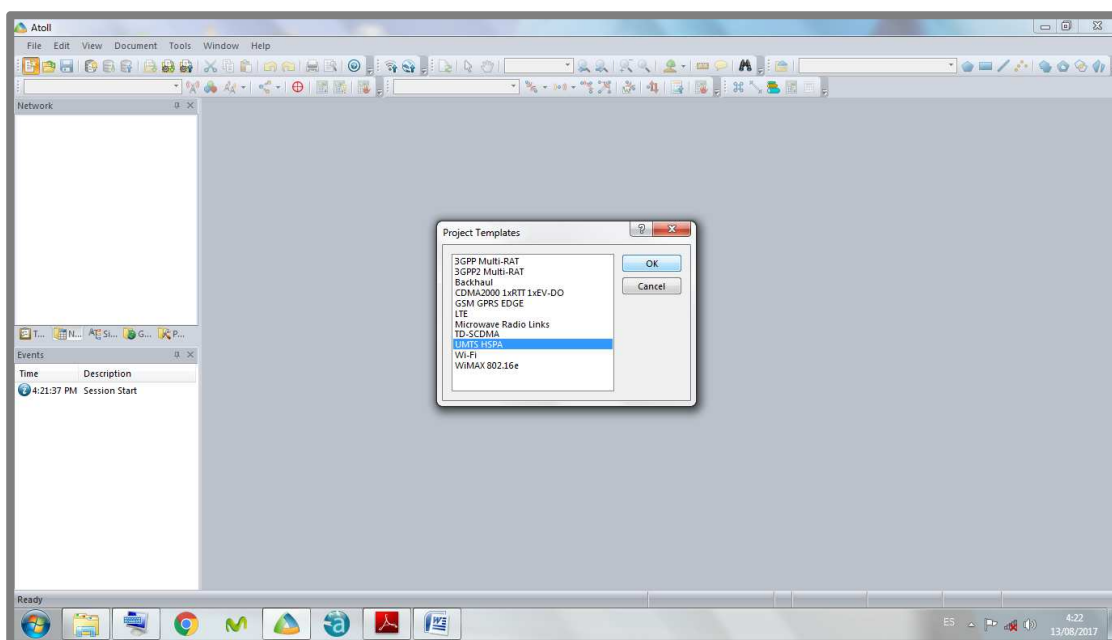


Figura 10. Escenario Principal de Trabajo en Atoll

A continuación, se configuró el área geográfica del escenario a trabajar. Para esto, se importaron los siguientes datos:

- Clutter Classes: Muestra en el mapa los diferentes tipos de zona que se encuentran en el área: zonas urbanas densas, urbanas, residencial, bosque, mar, entorno abierto, etc.
- Clutter Height: Ofrece información más precisa sobre las diferentes alturas que se pueden encontrar dentro de la misma clase. [6]



- Vector Data: Muestra objetos lineales (carreteras, vías de tren, aeropuertos, etc.)

Para este estudio, se seleccionaron los datos geográficos que representan la zona geográfica de la ciudad de Masaya, la cual posee diversos tipos de zonas, entornos y altitudes que proporcionan un análisis más completo del rendimiento de la red, tomando en cuenta el modelo de propagación utilizado.

A continuación se muestra en la figura el mapa con sus características de relieve, tipos de zonas y objetos lineales.

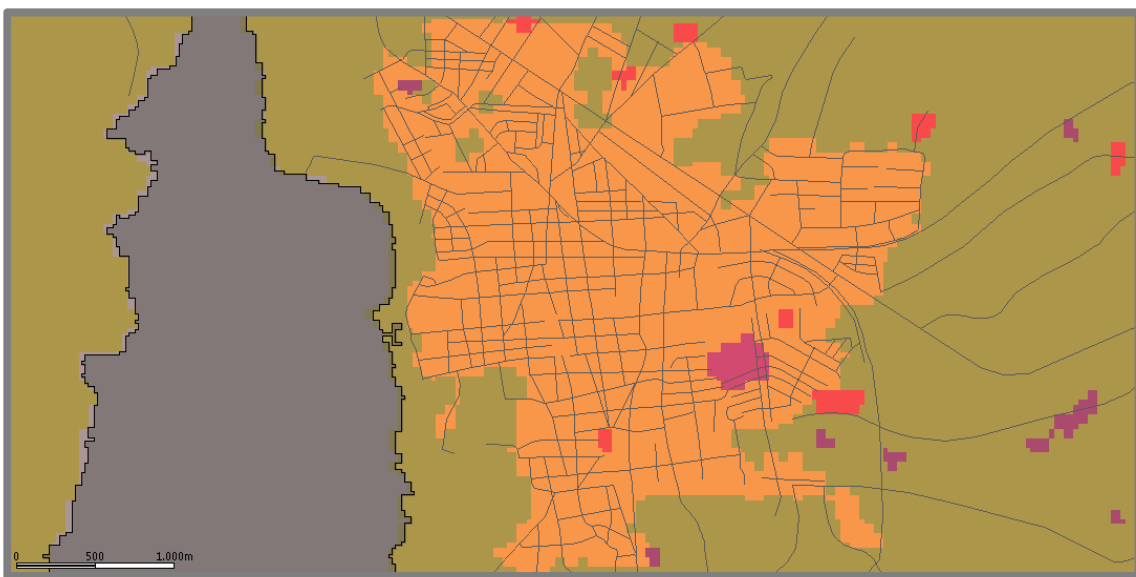


Figura 11. Mapa del escenario de Trabajo. Ciudad Masaya

Una vez con el mapa geográfico obtenido, se procede a la planificación y ubicación de las distintas estaciones base que darán soporte a nuestro sistema.

En ATOLL, las estaciones base están definidas a través de emplazamientos, transmisores y celdas.

Un emplazamiento establece el punto geográfico en donde la estación base está localizada, un transmisor establece las características físicas de los equipos de transmisión y recepción usados (antenas, cables de alimentación, etc.) y una celda define las características de los canales radio establecidos de acuerdo al estándar UMTS HSPA.

Un emplazamiento puede contener varios transmisores, y éstos a su vez pueden contener varias celdas.

En este proyecto, la ubicación y configuración inicial de las estaciones base (emplazamientos, transmisores y celdas) fueron importados con información proporcionada por el tutor y el mapa utilizado tiene una resolución de 5m y 3 transmisores por cada emplazamiento, teniendo una celda para el Nodo B en estudio.

Los parámetros configurados en las estación base serán definidos en un posterior apartado.

A continuación, se procedió a establecer una zona de cálculo de interés en la cual se realizarán todas las simulaciones y predicciones.

Los resultados de ATOLL se limitarán a dicha zona, pero cualquier estación base que tenga influencia sobre ella será tomada en cuenta aun cuando se encuentre situada fuera de la misma.

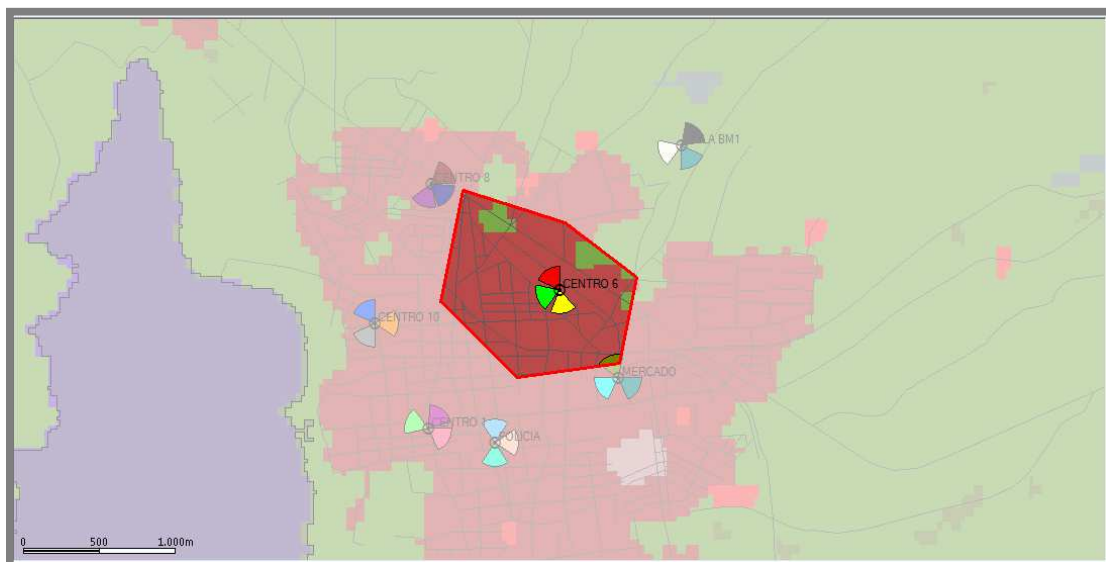


Figura 12. Estaciones Bases y Zona de Cálculo

A continuación se presenta una tabla con los posibles análisis que ofrece esta herramienta, con su descripción y si dependen o no de la carga de tráfico existente:

Nombre	Dependiente de la carga de tráfico	Descripción
<b>Coverage by Transmitter</b>	No	Predice el área de cobertura de un transmisor analizando el mejor de ellos en cada píxel del mapa
<b>Coverage by Signal Level</b>	No	Predice las zonas de cobertura por la intensidad de la señal del transmisor en cada píxel del mapa
<b>Overlapping Zones</b>	No	Calcula las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores
<b>Total Noise Level Analysis (DL)</b>	Si	Calcula y muestra las áreas donde el ruido total del Enlace Descendente o el aumento del ruido del enlace descendente supera el umbral de ruido establecido.
<b>Inter-Technology Interference Level Analysis (DL)</b>	Si	Calcula y muestra las áreas donde el ruido del enlace descendente o el aumento del ruido desde las estaciones bases externas y móviles exceden el umbral establecido.
<b>Pilot Quality Analysis (DL)</b>	Si	Identifica áreas donde hay al menos un transmisor cuya calidad piloto se recibe lo suficientemente bien para ser agregado al conjunto activo móvil de la sonda.
<b>Service Area Analysis (Eb/Nt)(DL)</b>	Si	Calcula y muestra los mejores servicios portadores radio disponibles basándose en la $C/(I+N)$ en cada píxel.
<b>Service Area Analysis (Eb/Nt)(UL)</b>	Si	Calcula y muestra los mejores servicios portadores radio disponibles basándose en la $C/(I+N)$ en cada píxel.
<b>Effective Service Area Analysis (Eb/Nt)(DL+UL)</b>	Si	Indica la zona donde un servicio está disponible tanto en el enlace descendente como ascendente
<b>Handoff Zones (DL)</b>	Si	Calcula y muestra las zonas donde se puede realizar un

		<p>traspaso. Para que sea posible un traspaso, debe haber un transmisor activo potencial, es decir, un transmisor que cumpla todos los criterios para ingresar al conjunto móvil activo, y el servicio elegido por el usuario debe estar disponible.</p>
<b>Pilot Pollution Analysis (DL)</b>	Si	<p>Calcula y muestra las áreas donde el transmisor móvil interfiere con la señal piloto de los transmisores contaminantes.</p>
<b>HSDPA Quality and Throughput Analysis (DL)</b>	Si	<p>Calcula y muestra el <i>throughput</i> y la capacidad de celda basándose en la <math>C/(I+N)</math> en cada píxel.</p>
<b>HSDPA Quality and Throughput Analysis (UL)</b>	Si	<p>Calcula y muestra el <i>throughput</i> y la capacidad de celda basándose en la <math>C/(I+N)</math> en cada píxel.</p>
<b>Scrambling Code Collision Zones (DL)</b>	Si	<p>Se realiza una predicción de la zona de colisión del código de aleatorización para ver las áreas cubiertas por las celdas que usan el mismo código de aleatorización. Atoll comprueba cada píxel si la mejor celda de servicio y las que cumplen todos los criterios para ingresar al conjunto activo (sin ninguna limitación de tamaño de conjunto activo) tienen el mismo código de aleatorización. Si es así, Atoll considera que hay una colisión de código de aleatorización</p>

**Tabla 1. Predicciones de Cobertura UMTS en Atoll [6]**

### 3.1.2. Proceso de optimización de la red

Una vez con el diseño básico de la red, el próximo paso es su optimización, a través de diversas técnicas que se verán a continuación:

## 1. Planificación de Vecinas

En una red UMTS HSPA en ATOLL, la asignación de vecinas forma una parte fundamental de su rendimiento ya que es usada para cálculos de asignación de frecuencias y de asignación de recursos a usuarios.

En este proyecto, la planificación de vecinas se realizó de forma automática utilizando una herramienta de ATOLL conocida como *Automatic Neighbours Allocation*, la cual se encargó de la planificación de acuerdo a ciertos parámetros establecidos. Para mayor detalle sobre la planificación de vecinos, ver Anexo 1.

## 2. Planificación del *Physical Cell ID*

El *physical cell ID* es un entero que varía entre 0 y 503 tal y como se define en las especificaciones del WCDMA. Cada señal de referencia enviada desde cada una de las celdas transmite una secuencia pseudo-aleatoria relacionada con el *physical cell ID* de cada celda. Una vez que el *physical cell ID* y esta secuencia pseudo-aleatoria es conocida por el móvil, este es capaz de reconocer con que celda está trabajando. En otras palabras, si todas las celdas de una red transmitieran el mismo *physical cell ID*, sería imposible para un terminal identificar diferentes celdas [6].

Para facilitar la identificación del cell ID al terminal, el rango de 504 physical cell IDs se dividen en 3 grupos de 168 valores. Cada grupo está determinado por el parámetro Primary Synchronization Signal (PSS) ID mientras que cada valor dentro un grupo forman el Secondary Synchronization Signal (SSS) ID. El terminal se sincroniza en tiempo y frecuencia para recibir estos dos parámetros (primero el PSS y luego el SSS) para poder interpretarlos y recibir correctamente el *physical cell ID* y su secuencia pseudo-aleatoria asociada [6].

## 3. Planificación de Frecuencias

El objetivo de la planificación de frecuencias es poder asignar distintas bandas de frecuencias a celdas que se encuentren adyacentes (relativamente cercanas entre sí) para de este manera poder reducir significativamente la interferencia intercelular generada.

A su vez, las celdas que no se encuentren adyacentes (que superen una distancia de 4000 m), podrán usar la misma banda de frecuencia y con esto se logra poder distribuir todo el ancho de banda de la red de una manera eficiente.

### 3.1.3. Parámetros Iniciales

A continuación se mostrarán los parámetros iniciales en la configuración de la red, algunos de ellos se irán variando conforme a se realicen los análisis.

#### 1. Modelo de propagación

El modelo de propagación a usar en todas las predicciones es el “Standard Propagation Model”, el cual está basado en la fórmula Hata y es adecuado para predicciones en la banda de 869MHz usada en este caso para el sistema WCDMA, y para largas distancias de hasta 20 Km.

#### 2. Estudio del Diseño de la Red:

En general, el cálculo de la cobertura de una red UMTS HSPA viene dado por los siguientes parámetros:

- 1) Elección del modelo de propagación
- 2) Parámetros de celdas, transmisores y antenas de la red.
- 3) La distribución de las clases de zonas y su porcentaje con respecto al área total.
- 4) El área definida para realizar el análisis (computation zone)
- 5) Las coordenadas o ubicación de las estaciones base.
- 6) Las especificaciones del terminal.

La cobertura de una red UMTS HSPA es determinada a través de la potencia recibida por las señales de referencia RSRP (Reference Signal Received Power) en el enlace de bajada.

En ATOLL, se calcula la mejor potencia de la señal recibida a través de la energía por recurso de elemento (RS EPRE, *Reference Signal Energy Per Resource Element*). [6]

### 3.2 Drive Test

Rutas de Drive Test



Las rutas de Drive Test son el primer paso para definir el lugar donde la prueba se producirá. Esta área se define en función de varios factores, principalmente relacionados con el objeto de la prueba [6].

Un programa muy útil en este campo es Google Earth. Una buena práctica consiste en trazar la misma ruta, con los caminos fáciles o polígonos. La imagen final puede ser traída a la atención del conductor.

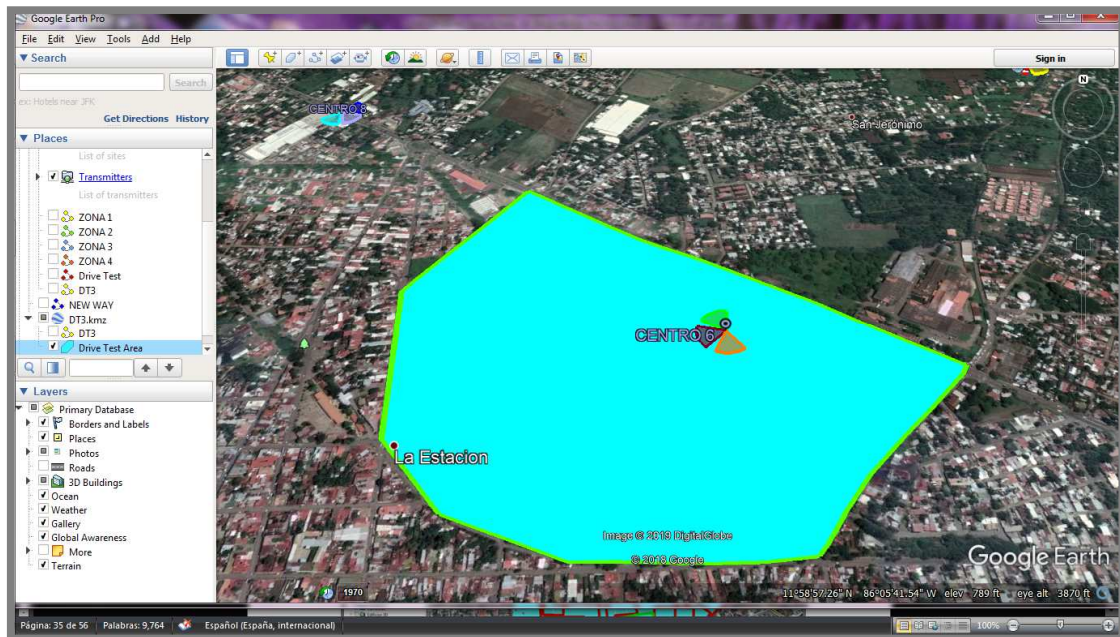


Figura 13. Estación Base y Computation Zone en Google Earth

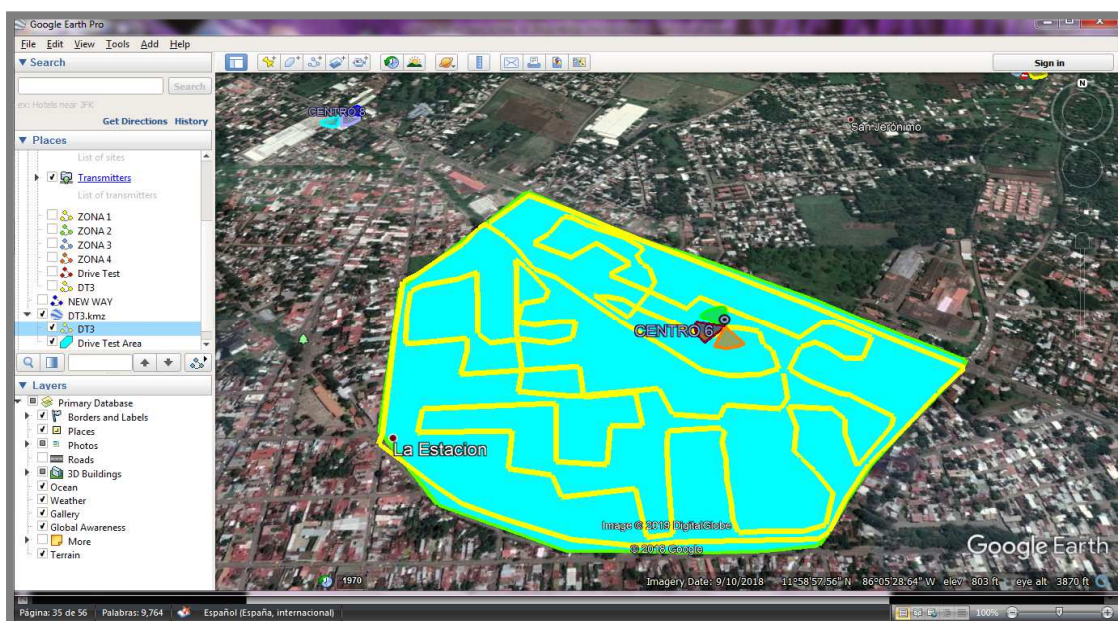


Figura 14. Ruta del drive Test. Ciudad Masaya

Algunos programas de software permiten que la imagen se vaya cargando como fondo de escritorio (geo-referenciados). Esto hace que sea mucho más fácil de dirigir el proceso a seguir.

Es aconsejable revisar las condiciones del tráfico, trazando con exactitud la manera en que el conductor debe pasar. Está claro que la circulación de vehículos está siempre sujeta a imprevistos, como la congestión, las carreteras bloqueadas, etc. Por lo tanto, uno siempre debe tener a la mano las rutas alternativas para estas ocasiones.

Evitar la ejecución de la misma ruta en varias ocasiones durante un Drive Test (uso de la pausa si es necesario). Una ruta con varias pasadas por la misma vía es más difícil de interpretar.

### **3.3 Calibración**

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

#### **¿Por qué Calibramos?**

La calibración se lleva a cabo por diferentes motivos, dentro de los cuales tenemos:

- Las computadoras o programas de simulación/Emulación no pueden mágicamente replicar la realidad.
- Los modelos de simulación están diseñados para ser generales
- El comportamiento del conductor y las características de la carretera dependen de la ubicación es decir, Masaya.  
Características del vehículo (caballos de fuerza, tamaño, etc.)  
Condiciones climáticas (seco, húmedo, hielo, etc.)  
Día o Noche
- ¿Qué es realista y qué no?

#### **• Calibración del SPM**

Calibrando el SPM significa el cambio y ajustamiento de los parámetros (K1-K7) y seleccionamiento específicos de los parámetros de calibración: distancia de los transmisores, altura efectiva de la antena, difracción y data clutter. La calibración es un proceso realizado a través de distintas iteraciones hasta que se haya



logrado obtener un resultado satisfactorio en la desviación standard y el error medio. [10]

La ecuación 3 y 4 definen el error medio y la desviación estándar de este error respectivamente

$$Mean\ Error = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Predicciones\ (i) - Mediciones\ (i)) \quad (4)$$

$$Mean\ Error = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Error\ (n))$$

Donde:

El error para cada muestra se calcula

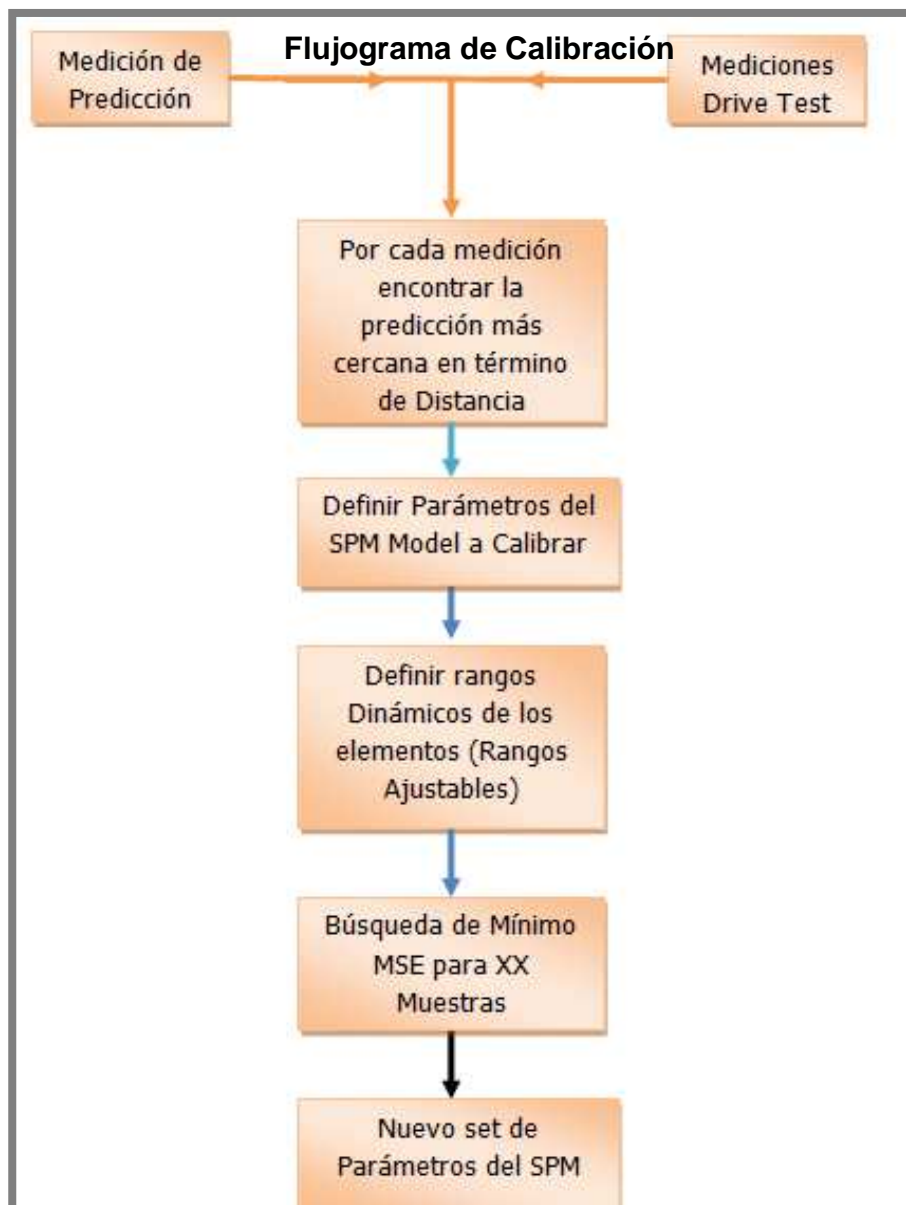
Error (n)= Mediciones (i) - Predicciones (i), donde i =1,..., N; donde N es el numero de muestras.

$$StdDev = \sqrt{Var(Error)} \quad (5)$$

Donde:

$$Var = E [x^2] - \mu^2$$

$$Var = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n Error^2 - ME^2$$



El Flujograma de Calibración presentado anteriormente aborda los aspectos a tomar en cuenta en la realización de nuestro Método de Calibración. En principio tenemos los bloques de los datos de las mediciones y predicciones ya previamente post procesados, es decir, los resultados obtenidos de la red realizada en Atoll y los datos obtenidos del Drive Test.

Estos datos son la base fundamental en nuestro proceso de calibración porque es a partir de estos mismos que damos inicio al proceso de calibración. Al procesar dicha información nos encontramos que los datos de las predicciones son ampliamente mayores que los datos de mediciones y es por este motivo que en el siguiente bloque definimos que fue necesario encontrar por cada medición la predicción más cercana en términos de Distancia. Sin embargo, los datos

obtenidos tanto en mediciones como en predicciones están dados en coordenadas y fue necesarios hacer uso del la formula de Haversine.

La fórmula de Haversine es utilizada para encontrar la distancia más corta entre 2 puntos sobre la superficie de la tierra, ignorando la elevación, las colinas, etc. Calcula la distancia de conducción en metros entre puntos sucesivos en la superficie de la Tierra. Estos puntos se especifican como vectores de latitudes y longitudes [11].

Fórmula de Haversine

$$\text{Haversin}(\theta) = \text{sen}^2(\theta/2) \quad (6)$$

Una vez encontrada la medición más cercana por cada predicción necesitamos definir los parámetros del SPM que van a ser calibrados y estos parámetros se encuentran en la ecuación 3 en la página 21

Una vez establecidos los parámetros del SPM necesitamos definir los rangos dinámicos de los elementos o rangos ajustables para poder calibrar el SPM. Los rangos dinámicos seleccionados se basan en la recomendación de la guía de calibración de Atoll y se basa en lo siguiente:

K1= 0 - 100

K4= 0

K7= -10, 0

K2= 20 - 70

K5= -10, 0

K3= -20, 20

K6= 0

**\*\*K6=** Es cero por recomendación de la Guía de Atoll.

Una vez definidos los rangos dinámicos fue necesario definir un criterio de selección de la muestras. Se valoraron diferentes métodos de selección de muestras, escogiendo finalmente todas aquellas muestras que obtuvieron un error cuadrático medio antes de la calibración comprendido en el rango 6.85 - 6.95 dBm. Siendo el número de muestras que cumplen este criterio 19 muestras, distribuidas en términos de distancia de la siguiente manera:

Rango de Distancia: nodo B-Muestras	Números de muestras por rango
0-100 Metros	1
100-200 Metros	2
200-300 Metros	2

<b>300-400 Metros</b>	4
<b>400-500 Metros</b>	5
<b>500-600 Metros</b>	4
<b>600 a mas metros</b>	1

Tabla 2. Rango de Distancia: nodo B- Muestras

Una vez definidos el rangos dinámico de los parámetros K y el número de muestras seleccionadas del Drive Test se procede a buscar la combinación de los parámetros K que produce el menor error cuadrático medio.

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y análisis realizados durante el desarrollo de este proyecto, junto con sus respectivas simulaciones y predicciones.

### **4.1 Planificación de una Red en Atoll**

Desarrollamos un entorno en la herramienta de planificación Atoll, en el cual trabajamos en la planificación de la red Movistar que actualmente existe en la ciudad de Masaya.

En el desarrollo de este entorno fue necesario contar con la ubicación exacta de los sitios y algunas especificaciones de los mismos. Una vez cargados los mapas y ubicados los sitios en el mismo logramos la implementación de la red quedando mostrado en la figura 16.

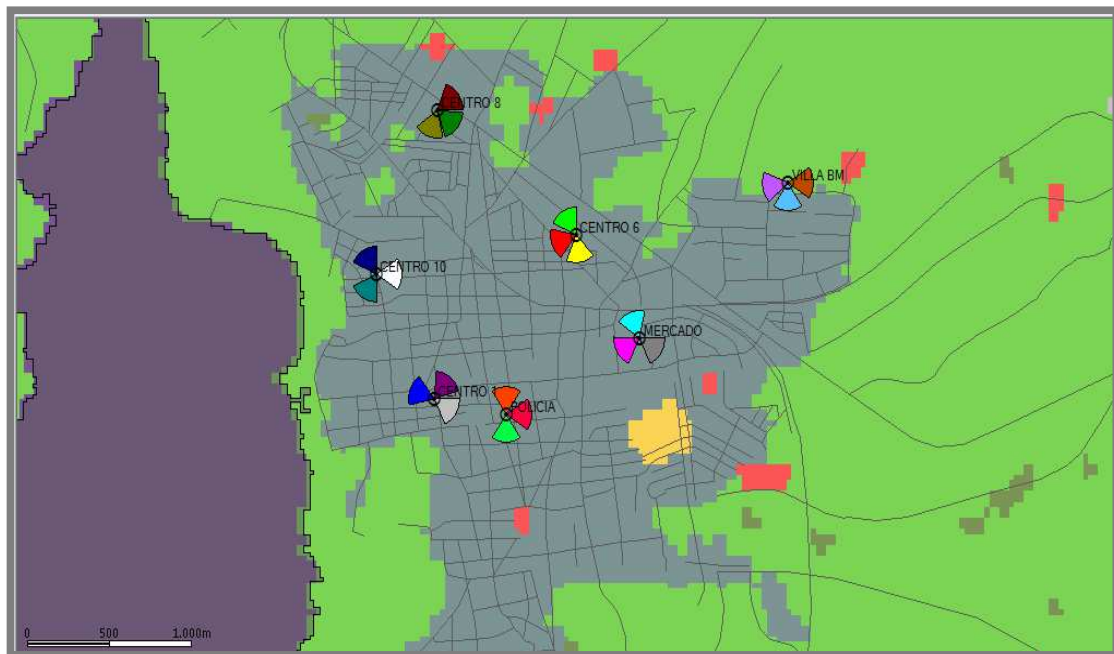


Figura 15. Red Movistar de la Ciudad de Masaya

Con este entorno realizado procedimos a introducir datos en las tablas respectivas que posee la herramienta de planificación. Estos datos, son datos reales de la red de Movistar del departamento de Masaya que fueron proveídos por el tutor de este trabajo monográfico. La figura 16 muestra la tabla de transmisores de Atoll en la que trabajamos la modificación de los parámetros de la red.

Site	Transmitter	Active	Antenna	DX (m)	DY (m)	Height (m)	Azimuth (°)	Mechanical Down tilt (°)
► CENTRO 1	CENTRO 1_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	30	40	
CENTRO 1	CENTRO 1_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	30	120	
CENTRO 1	CENTRO 1_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	30	290	
CENTRO 10	CENTRO 10_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	330	
CENTRO 10	CENTRO 10_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	90	
CENTRO 10	CENTRO 10_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	210	
CENTRO 6	CENTRO 6_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	330	
CENTRO 6	CENTRO 6_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	170	
CENTRO 6	CENTRO 6_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	25	250	
CENTRO 8	CENTRO 8_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	35	55	
CENTRO 8	CENTRO 8_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	35	130	
CENTRO 8	CENTRO 8_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	35	200	
MERCADO	MERCADO_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	18	340	
MERCADO	MERCADO_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	18	120	
MERCADO	MERCADO_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	18	240	
POLICIA	POLICIA_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	25	0	
POLICIA	POLICIA_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	25	90	
POLICIA	POLICIA_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_08DT_086	0	0	25	180	
VILLA BM 1	VILLA BM 1_1	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	30	45	
VILLA BM 1	VILLA BM 1_2	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	30	150	
VILLA BM 1	VILLA BM 1_3	✓	LDXX-6516DS-VTM_Port1 +45_04DT_086	0	0	30	250	
*								

Figura 16. Tabla de Transmisores de Atoll

En esta tabla podemos modificar información con referencia a los sitios ya ubicados, tales como:

Tipo de Antena, Altura de Antena, Azimuth, Banda de Frecuencia, Modelo de Propagación Principal, carrier, Cell ID, Código Primario Scrambling, Max Power (dBm), Pilot Power (dBm).

Una vez introducidos los datos requeridos para la planificación de la red, realizamos las correspondientes predicciones, que en nuestro caso fue Coverage by Signal Level, necesaria para poder realizar el método de calibración del Standard Propagation Model. Mostramos el resultado en la figura 17.

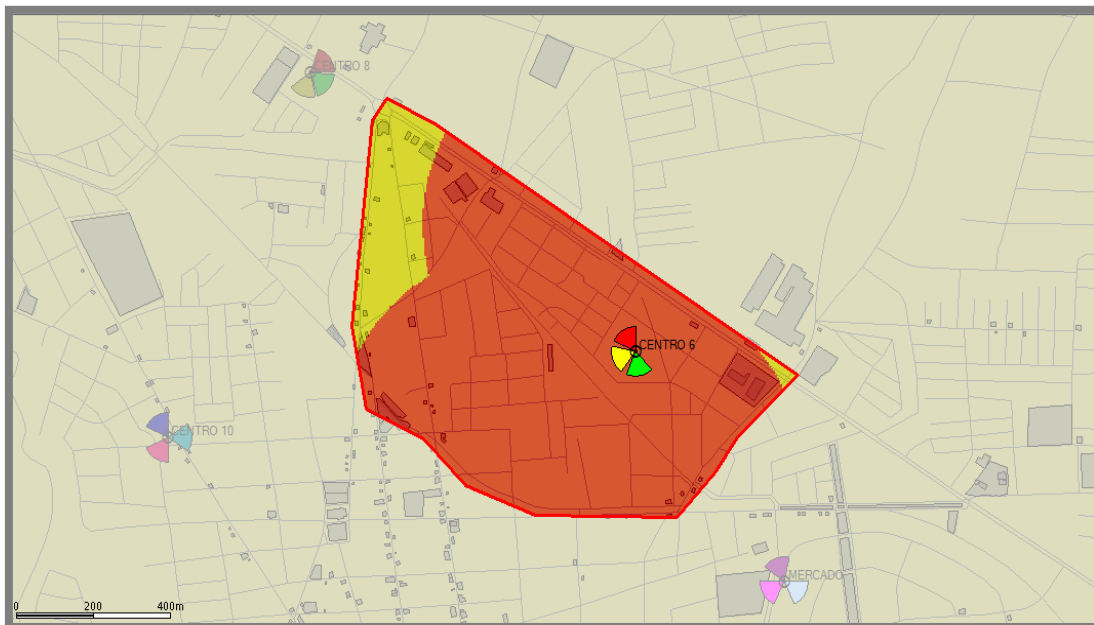


Figura 17. Coverage by Signal Level Prediction Computation Zone

Una vez con las predicciones realizadas procedimos a extraer información de importancia de las mismas, dentro de las cuales obtuvimos.

En la zona que hemos escogido, realizamos una zona de cómputo en la cual se encuentra el área que nos interesa estudiar. En este sitio encontramos el nodo B en una zona muy poblada y céntrica de la ciudad de Masaya del cual obtuvimos la siguiente información:

La figura 18 nos muestra el rango en que se encuentra el muestreo de las predicciones. Podemos apreciar que tenemos un rango en la predicción entre -70 a -90 dBm en la intensidad de la señal, encontrando la mayor concentración de muestras en el rango de -70 a -80dBm.

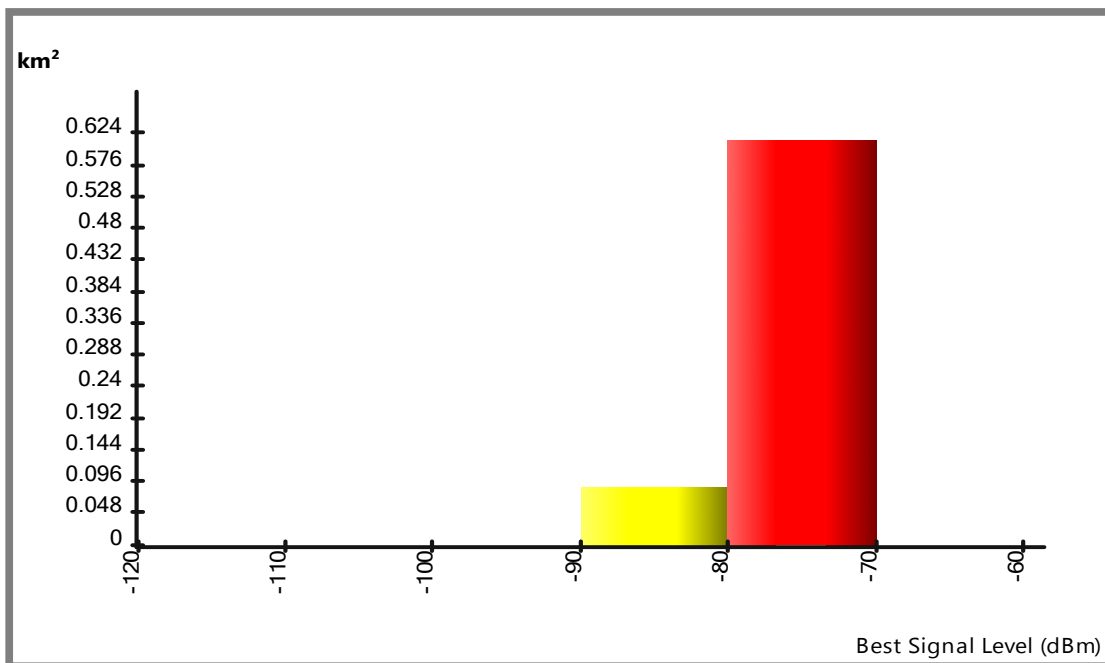


Figura 18. Histograma Computation Zone Coverage by Signal Level

## 4.2 Mediciones de Campo (Drive Test)

Una vez realizadas las predicciones procedimos a realizar las mediciones de campo o Drive Test, en la cual utilizamos el equipo Pilot RCU para poder realizar dicha campaña.

Para esta medición de campo utilizamos la siguiente interfaz en tiempo real que nos permitió monitorear el progreso de la misma y lo mostramos en la figura 19.

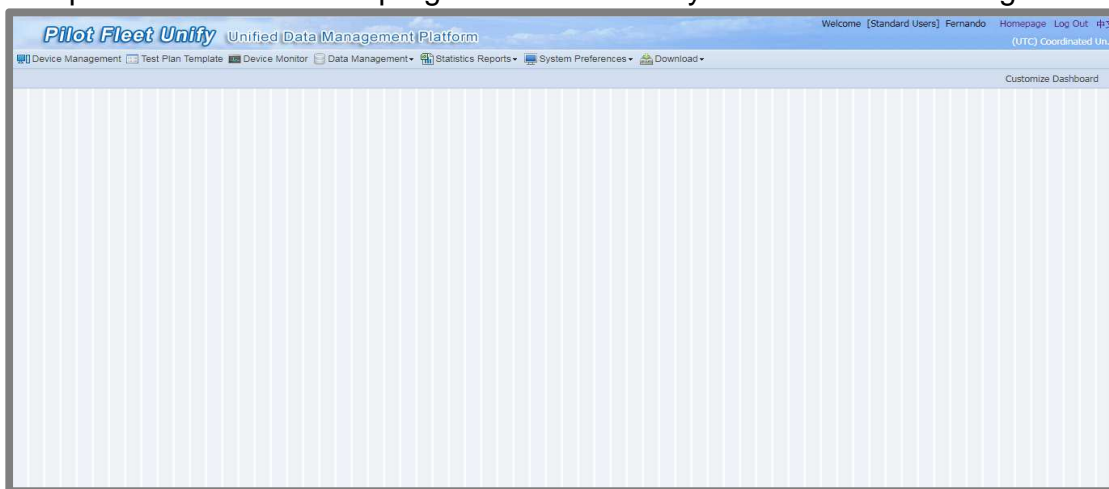


Figura 19. Interfaz Pilot Fleet Unify

Una vez ingresados en el sistema del Pilot RCU procedimos a conectar las antenas al dispositivo, el GPS y la alimentación para luego iniciar el equipo que tarda aproximadamente 8 minutos en encender, debido a que configura los puertos habilitados en los cuales recibimos la información obtenida del sitio de interés. Una vez iniciado el equipo la plataforma reconoce el dispositivo.



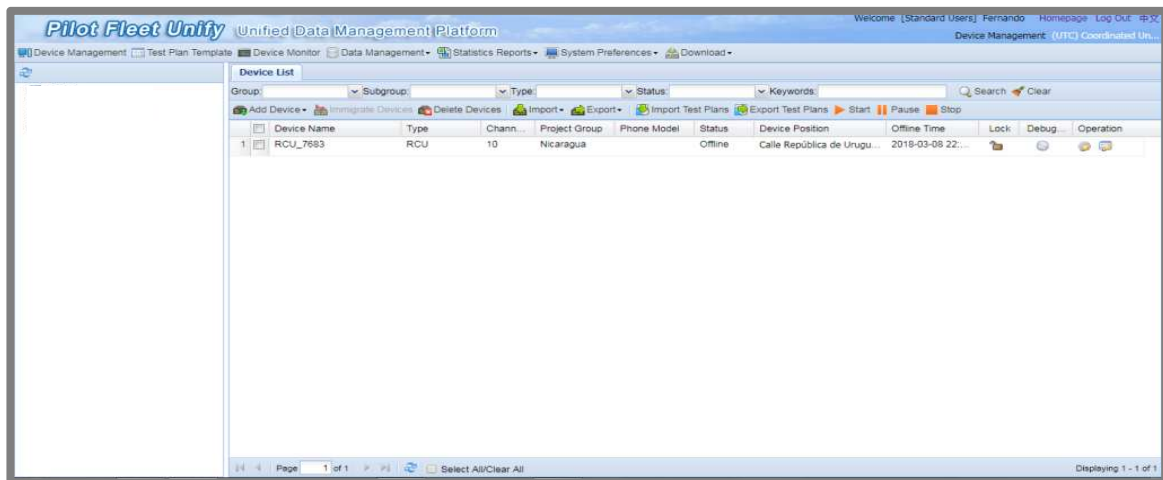


Figura 20. Pilot Fleet Unify reconoció el Equipo en Uso

Una vez reconocido el equipo que utilizamos procedimos a configurar el tipo de red a usar, los puertos encargados de recaudar la información, el tipo de extensión del documento, la hora y fecha, entre otros puntos. Lo realizamos en la interfaz mostrada en la figura 21.

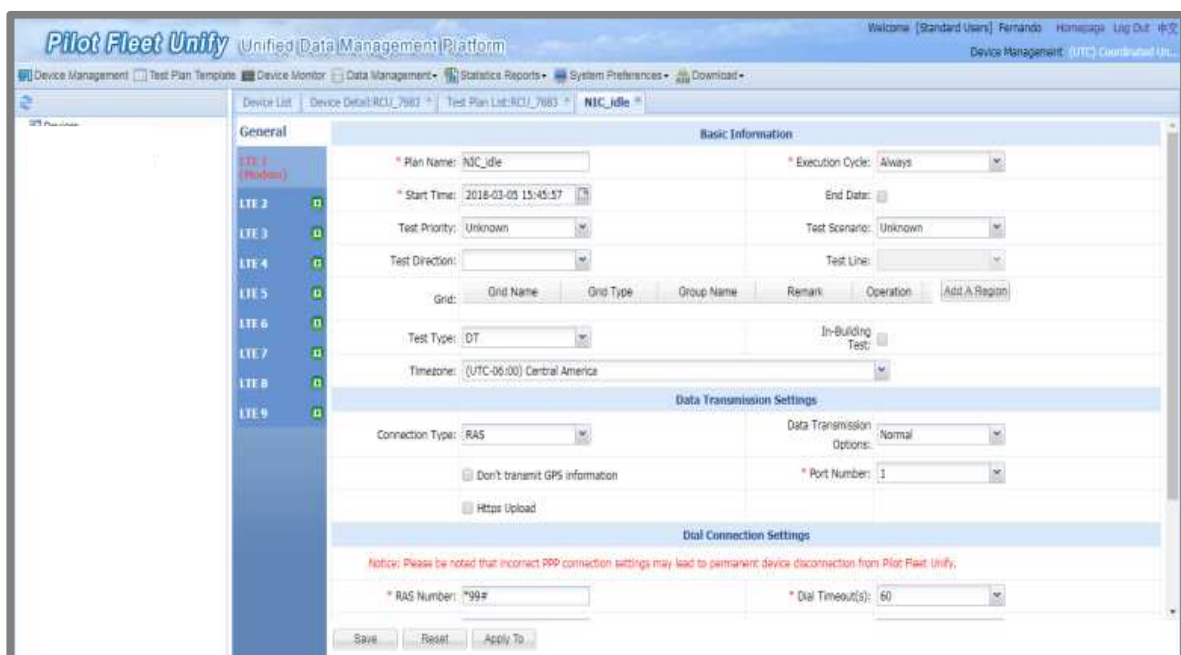


Figura 21. Configuración del Equipo Pilot RCU

Una vez configurado el equipo dimos inicio a la recolección de datos en el área de interés. Mostramos en la figura 22 que la información que recolectamos fue en tiempo real.

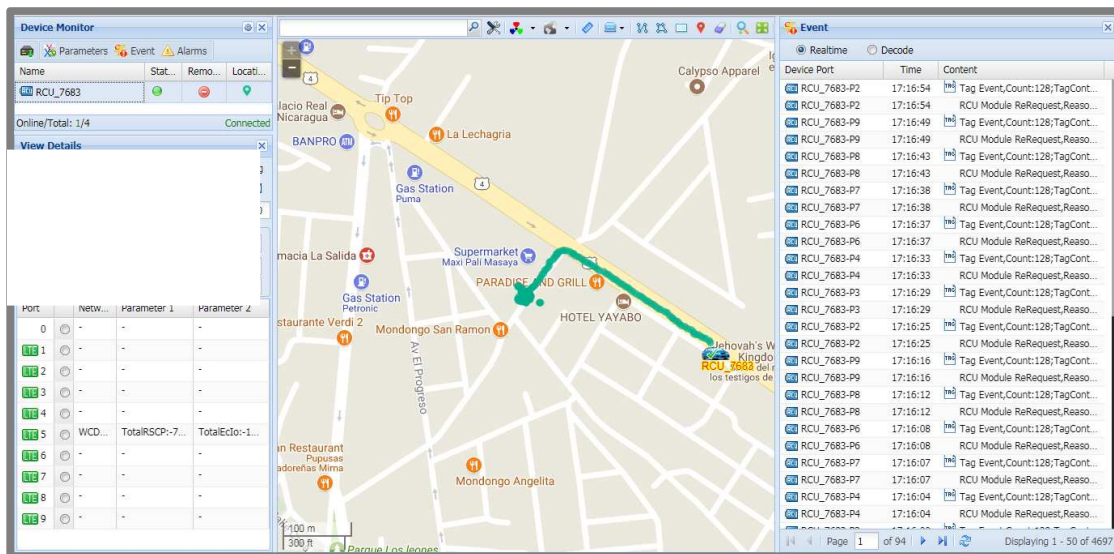


Figura 22. Recolección de Datos en Tiempo Real

El tiempo del Drive Test fue de 2 horas, dando inicio a la 10:20 am y culminando a las 12:20 pm, realizado en un vehículo con velocidad promedio de 25Km/h. En la figura 23 mostramos el recorrido que obtuvimos al final de las mediciones de campo.

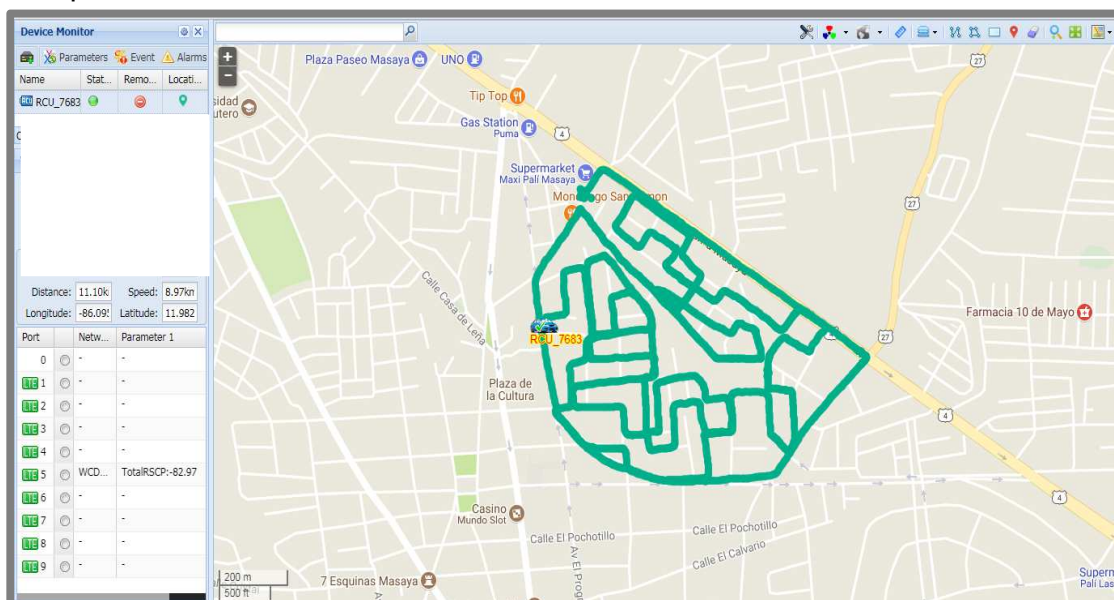


Figura 23. Drive Test Completo

### 4.3 Análisis de Datos del Drive Test

Una vez realizado el Drive Test, procedimos al procesamiento de la información que logramos obtener. Para realizar este procesamiento nos auxiliamos de una herramienta post procesamiento que nos permitió extraer la información.

Esta herramienta se llama Actix Analyzer version 5.5.338.385 que es un programa desarrollado por Actix Internacional Amdocs Company. Esta es la solución de escritorio líder de la industria, Actix Analyzer, proporciona análisis avanzados de encuestas de pruebas de manejo. Es compatible con la optimización de la red, la aceptación y validación de la red y se utiliza en implementaciones 2G, 3G, LTE y VoLTE.

Proporciona un análisis de encuesta de prueba de unidad avanzada. Es el estándar global en uso en más de 300 operadores y es la herramienta más utilizada en su clase.

Ahora explicaremos como utilizamos la herramienta Actix Analyzer para poder procesar la información recaudada por medio del Drive Test. Al abrir el programa nos encontramos con esta primera interfaz.

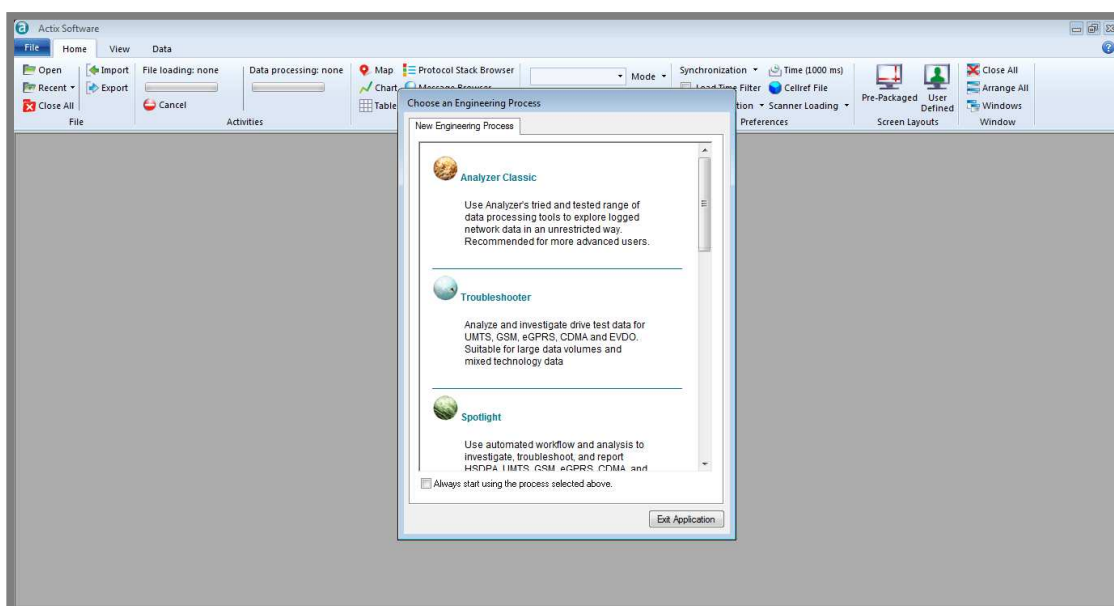


Figura 24. Interfaz inicial de Actix Analyzer

El programa nos muestra varios procesos en los cuales trabajar en la herramienta, nosotros trabajamos con Analyzer Classic Analysis. Este análisis nos permite administrar datos, visualizar datos, analizar datos, optimizar redes y configurar los datos de la red. Luego de elegir el proceso, durante la sección de trabajo la interfaz de Analyzer Classic puede lucir así.

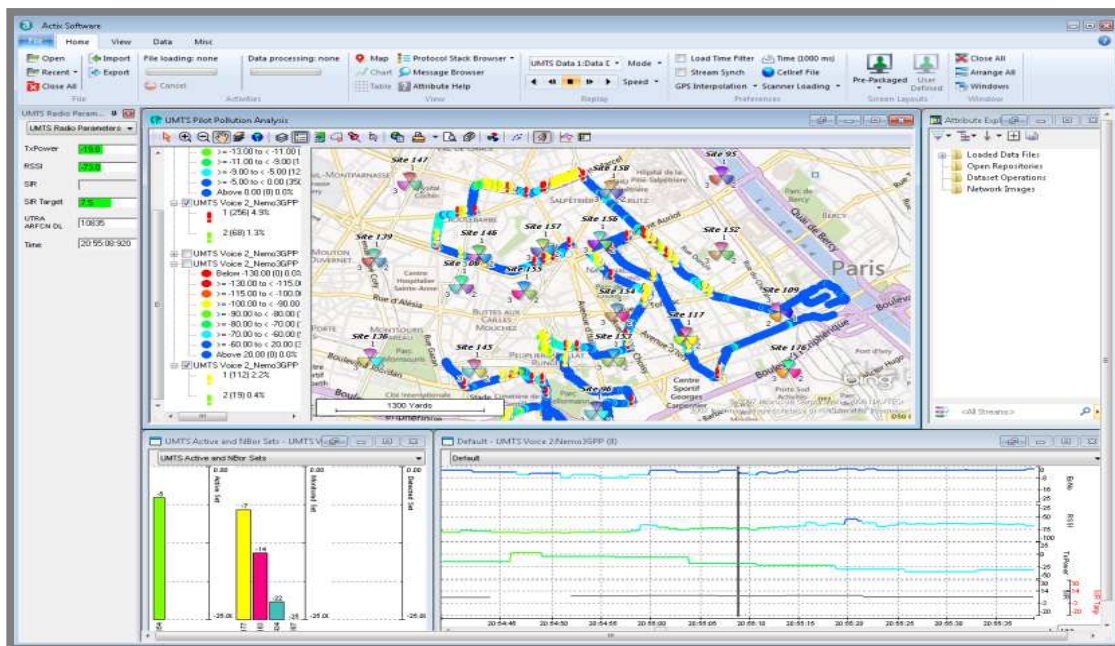


Figura 25. Analyzer Classic Interface de Actix Analyzer

Una vez activada el proceso clásico y creado un nuevo workspace procedimos a cargar la información brindada por el equipo de recolección de datos, el RCU, quien nos brindo un archivo con extensión (.rcu) compatible con Actix Analyzer. Cargada la información procedimos a buscar la tecnología de interés, que para nuestro caso es 3G.

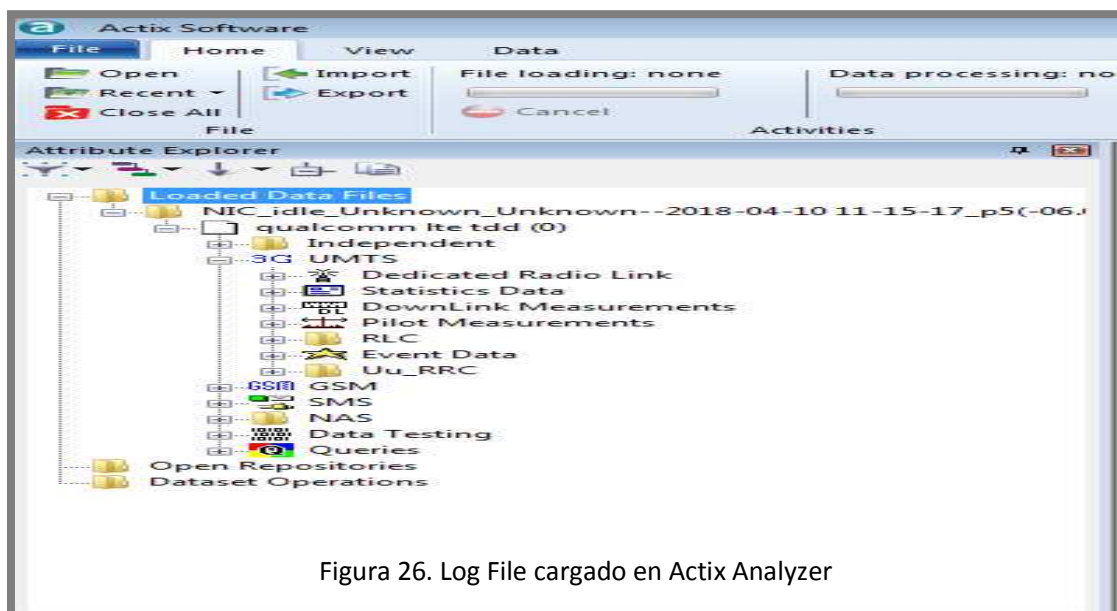


Figura 26. Log File cargado en Actix Analyzer

Con dicha información cargada, en la tecnología 3G buscamos el DownLink Measurements y nos ubicamos en Activeset\_RSCP donde encontramos 2 opciones Activeset\_RSCP\_0 y Activeset\_RSCP\_1 de las cuales escogemos la primera y la mostramos en el mapa.



En este mapa apreciamos la información que recolectamos a través del Drive Test y observamos que coincide con la información mostrada en la figura 23. La figura 27 muestra nuestro sitio de interés y el recorrido que se realizó.

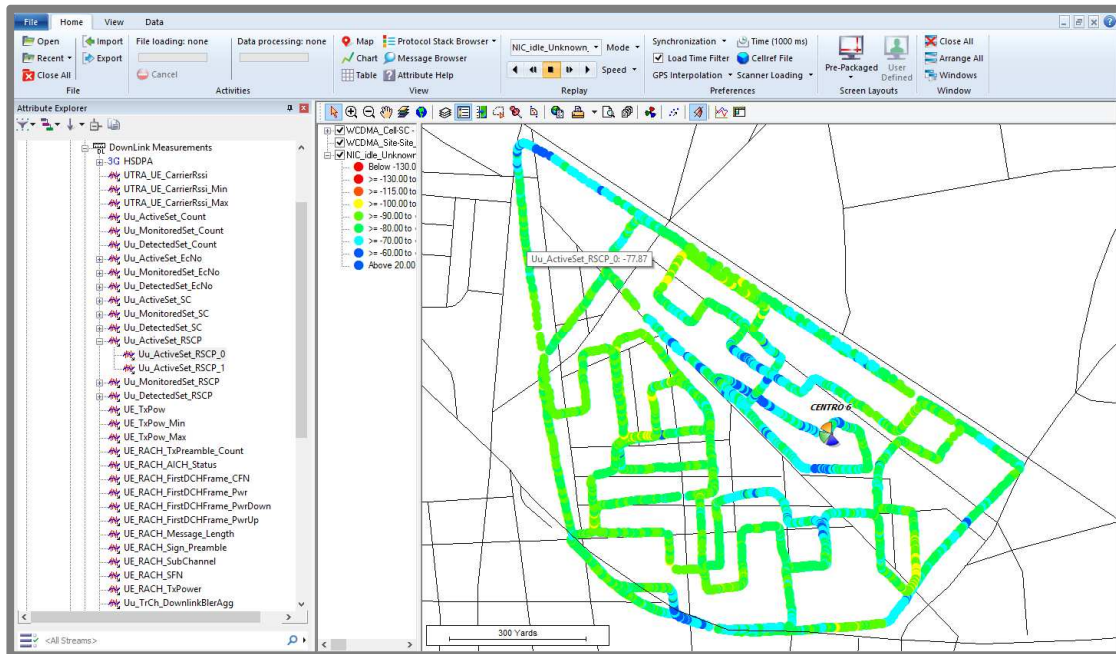


Figura 27. Display en Mapa de RSCP en Actix Analyzer

Procesamos esta información porque para poder empezar a trabajar en el método de calibración, era necesario obtener de esta información en tablas de Excel para poder trabajar con el desarrollo del mismo. También logramos obtener esta información en caracteres de mediciones.

En la figura 28 apreciamos el muestreo recaudado y procesado en Actix Analyzer, para poder llegar a esta grafica fue necesario aprender a operar el software. Los resultados están dados en función del tiempo en que se realizó el Drive Test y la Intensidad de Señal Recibida del sitio bajo estudio.

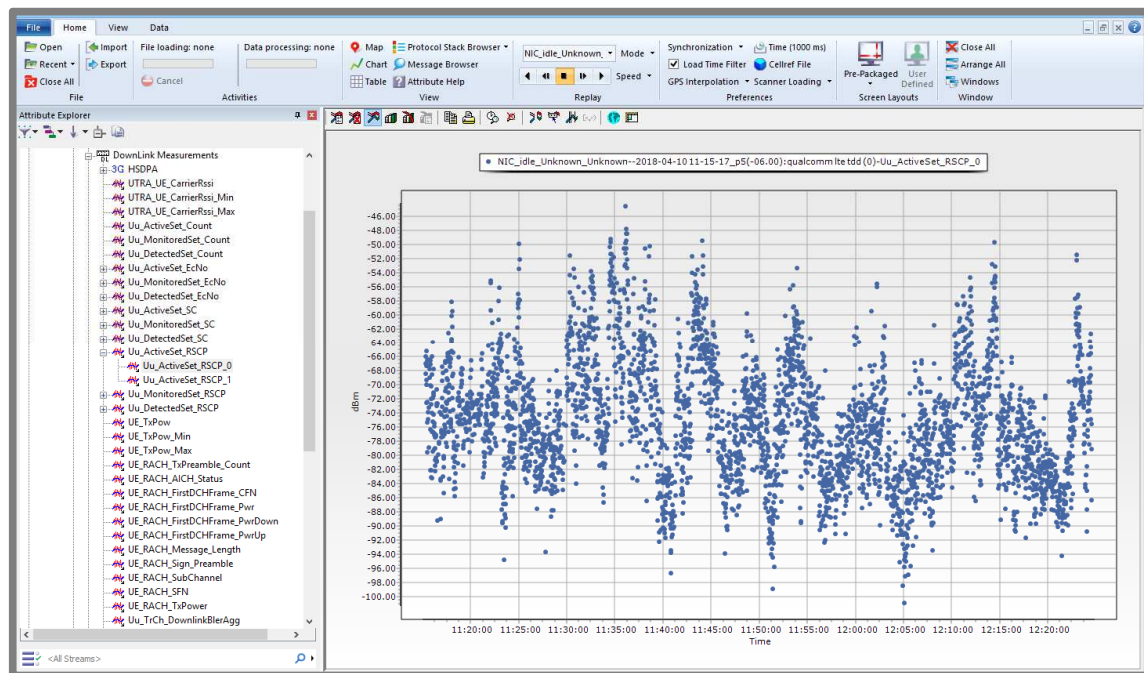


Figura 28. Display on Chart de las Mediciones del Drive Test

#### 4.4 Resultados del Método de Calibración

Esta sección, está dedicada a presentar los resultados obtenidos en el desarrollo del Modelo de calibración.

En el desarrollo de este modelo fue necesario contar con información previamente recaudada y analizada, tal es el caso de la Predicción y de la Medición, los cuales son el punto de partida y primer paso de nuestro Método de Calibración.

En la figura 29 presentamos la predicción que se recaudó y analizó con anticipación y en el cual se refleja que el muestreo es amplio. Las muestras se encuentran tan seguidas que en la zona bajo estudio no apreciamos ninguna calle del mapa.

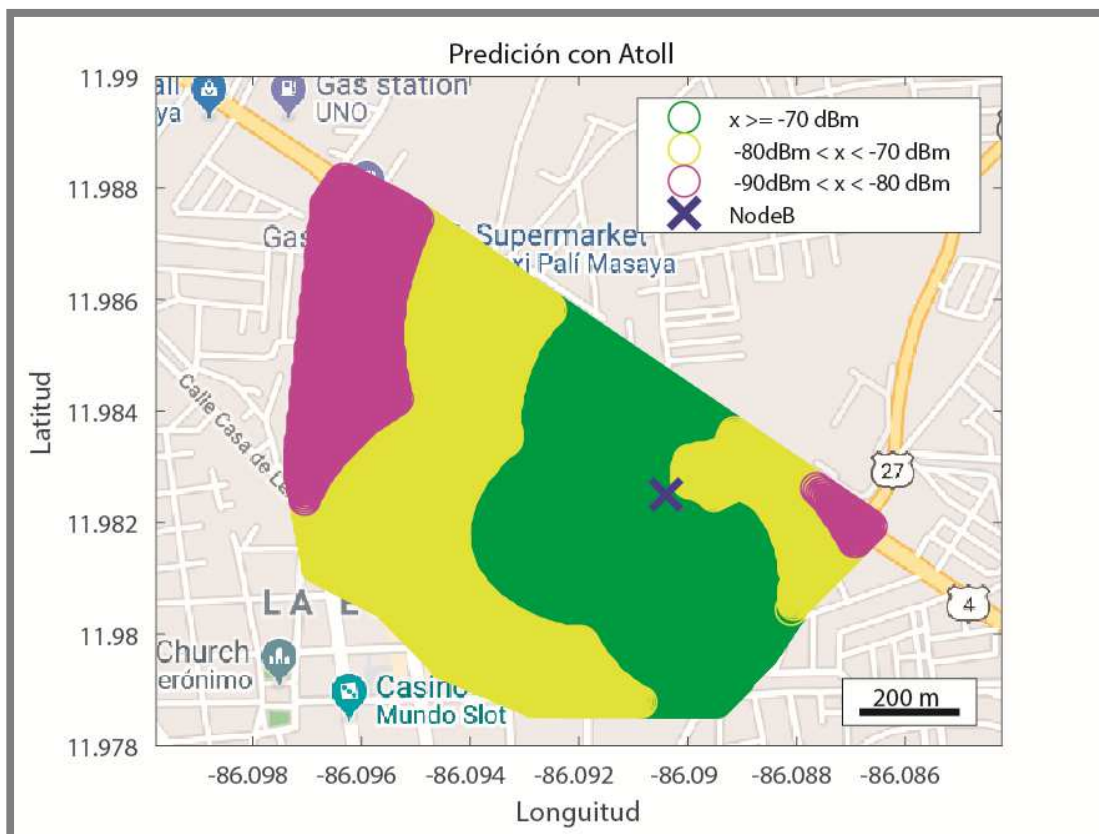


Figura 29. Predicciones Totales de ATOLL

En la figura 30 presentamos las mediciones recaudadas y analizadas en el drive Test.

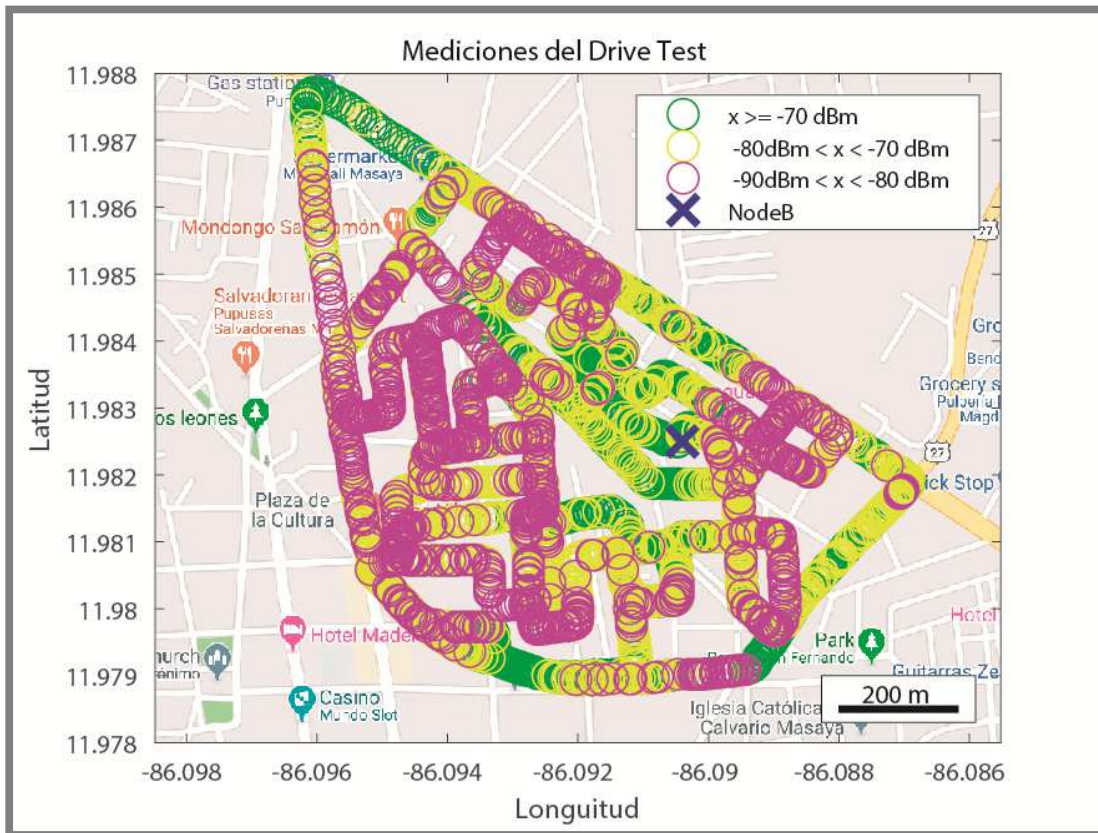


Figura 30. Mediciones del Drive Test

Como podemos ver, mientras Atoll genera una predicción por cada pixel del mapa en la medición se recaudó una muestra cada cierto intervalo como se configura de acuerdo a la sección 4.2. Como podemos ver hay muchas muestras en la predicción que se encuentra fuera de las calles. Como siguiente paso decidimos hacer un muestreo uno a uno por cada muestra de medición a la de predicción.

Utilizamos un método basado en distancia donde buscamos aquella predicción que está más cercana en términos de distancia a cada medición para obtener una equivalencia uno a uno, el resultado se muestra en la figura 31.



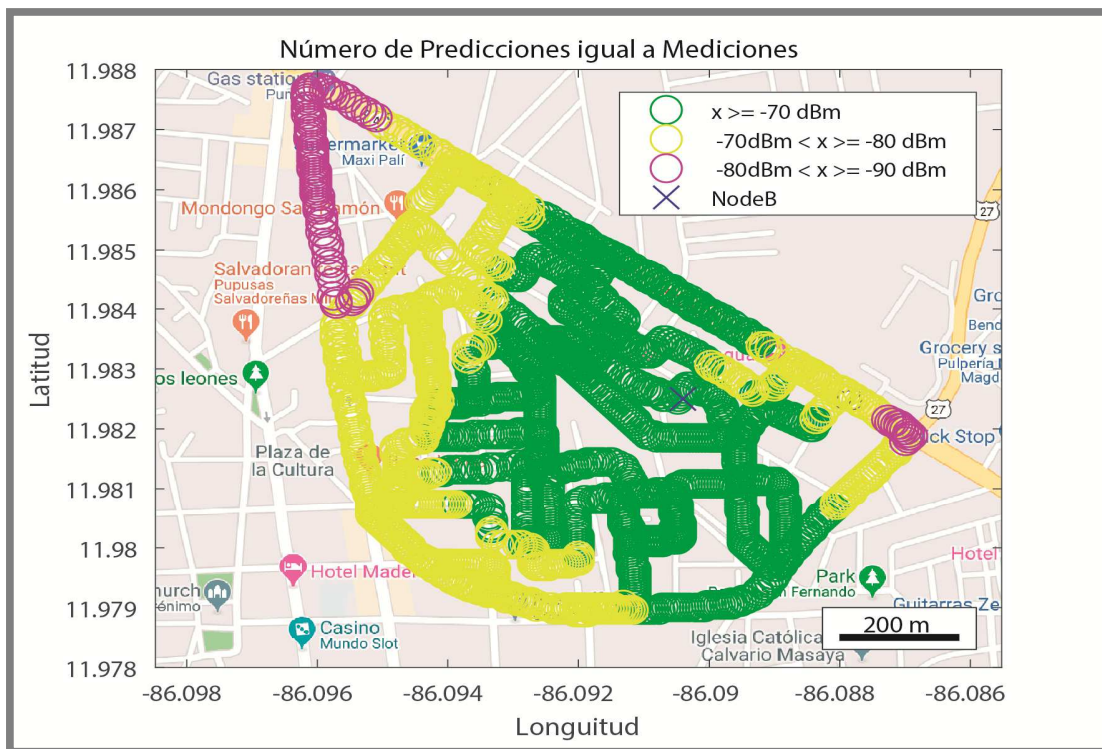


Figura 31. Número de predicciones Igual a Mediciones

Logramos que el número de muestras de mediciones y predicciones fuesen equivalentes y georeferencialmente casi idénticas, con este resultado procedimos a mostrar el error promedio y la desviación estándar en términos RSCP lo cual lo mostramos en la figura 32.

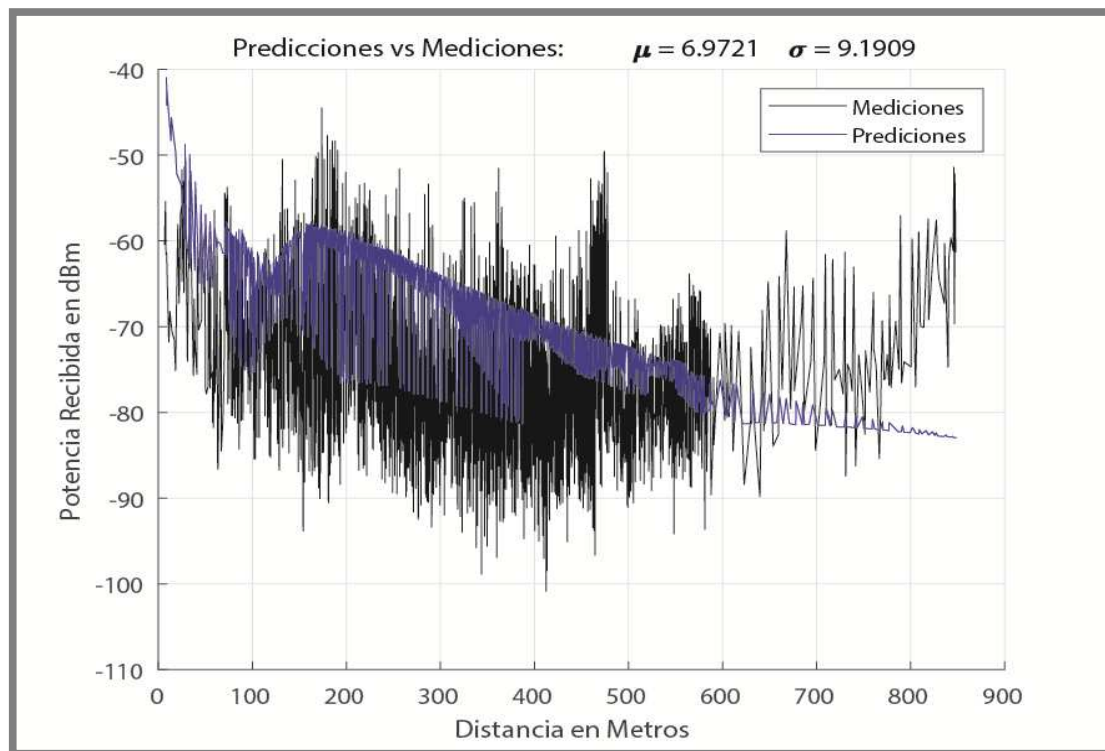


Figura 32. Comparación de Potencia recibida: Predicción vs Medición

Como podemos ver, el Error promedio es 6.9721 dBm y la Desviación Estándar de 9.1909 dBm con respecto a las mediciones versus predicciones que con anterioridad fueron recaudados y procesados.

Procedimos a definir los parámetros del SPM Model para continuar con el desarrollo del Método de Calibración donde Atoll recomienda que  $K6=0$ , según Guía Técnica de Referencia [5]. Nosotros decidimos calibrar  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $K5$ ,  $K7$  y hacer  $K6$  y  $K4$  igual a cero porque no poseíamos conocimiento de la Pérdida por Difracción. Por lo tanto nuestro modelo se enfoca en calibrar  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ,  $K5$ ,  $K7$ .

Como resultado obtuvimos los nuevos K set.

K Set sin Calibrar	
K1	17.4
K2	44.9
K3	5.30
K4	1
K5	-6.55
K6	0
K7	0

Tabla 3. K Set sin Calibrar

New K Set	
K1	82.60
K2	20
K3	-8.16
K4	0
K5	0
K6	0
K7	0

Tabla 4. Nuevo K Set

Este nuevo K set fue introducido nuevamente en Atoll como el Modelo Calibrado del SPM para obtener una nuevas predicciones que fueron comparadas con las mediciones del drive Test y la figura 33 demuestra dicha comparación. Para poder llegar a esta conjetura se tuvo que aplicar el procedimiento de realizar en términos de distancias buscar aquella predicción que estuviese más cercana a cada medición, para así obtener una equivalencia uno a uno.

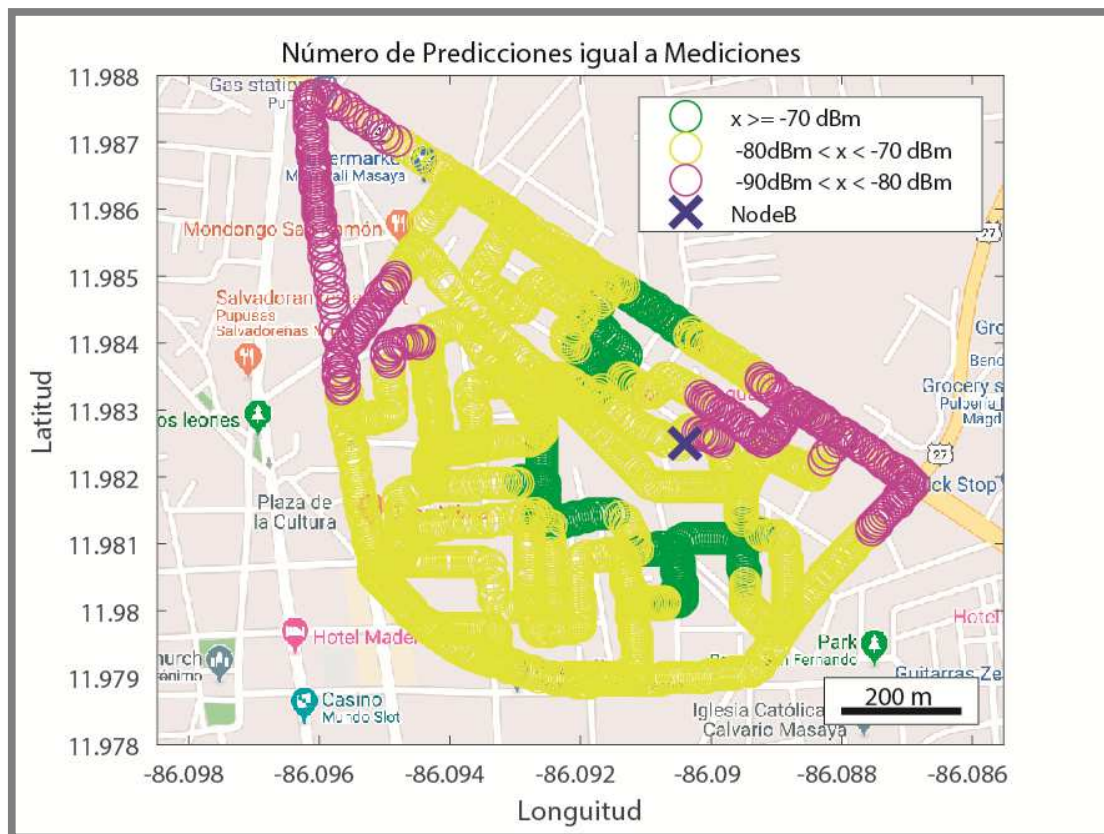


Figura 33. Número de predicciones Igual a Mediciones Calibradas

Una vez que el número de muestras de mediciones y predicciones fueron equivalentes y georeferencialmente casi idénticas, con este resultado procedimos a mostrar el error promedio y la desviación estándar en términos RSCP lo cual lo mostramos en la figura 34.

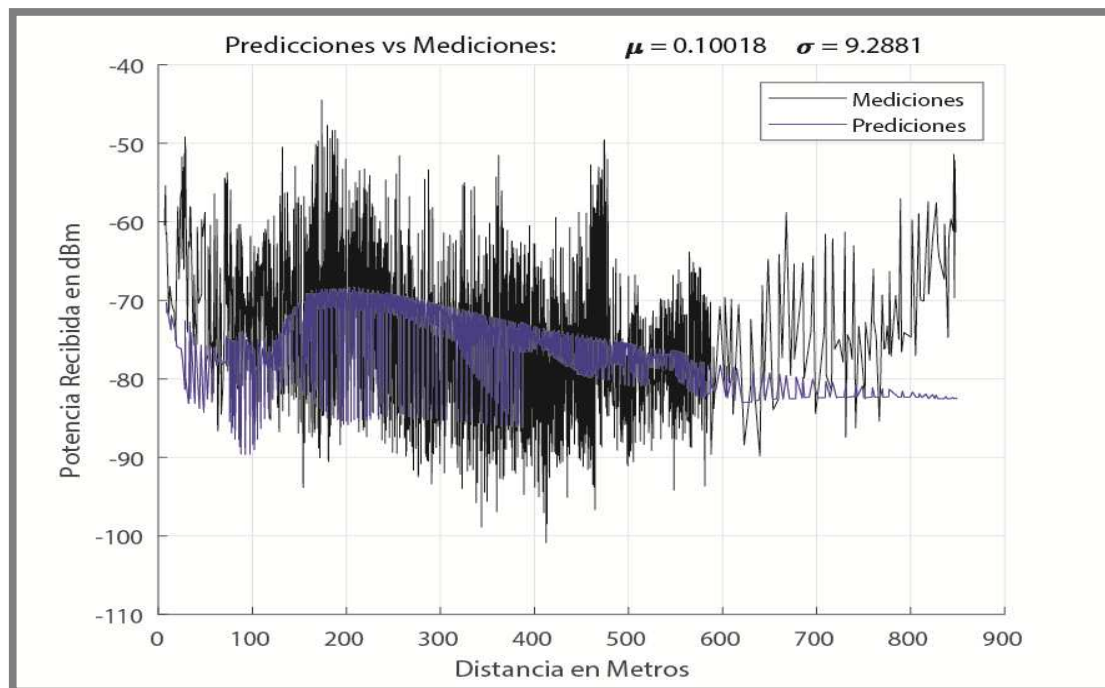


Figura 34. Comparación de Potencia Recibida Calibrada: Predicción vs Medición

Como podemos ver, el Error promedio es 0.10018 dBm y la Desviación Estándar de 9.2881 dBm con respecto a las mediciones versus predicciones que con anterioridad fueron recaudados y procesados.

Nuestro método de calibración disminuyó el error promedio considerablemente y paso de 6.9721 dBm antes de la calibración a 0.10018 dBm ya con el modelo calibrado.



En esta figura 35 presentamos la comparación de la Mediciones recaudadas en el Drive Test Versus las Mediciones Calibradas (Predicciones calibradas – Mediciones del Drive Test)

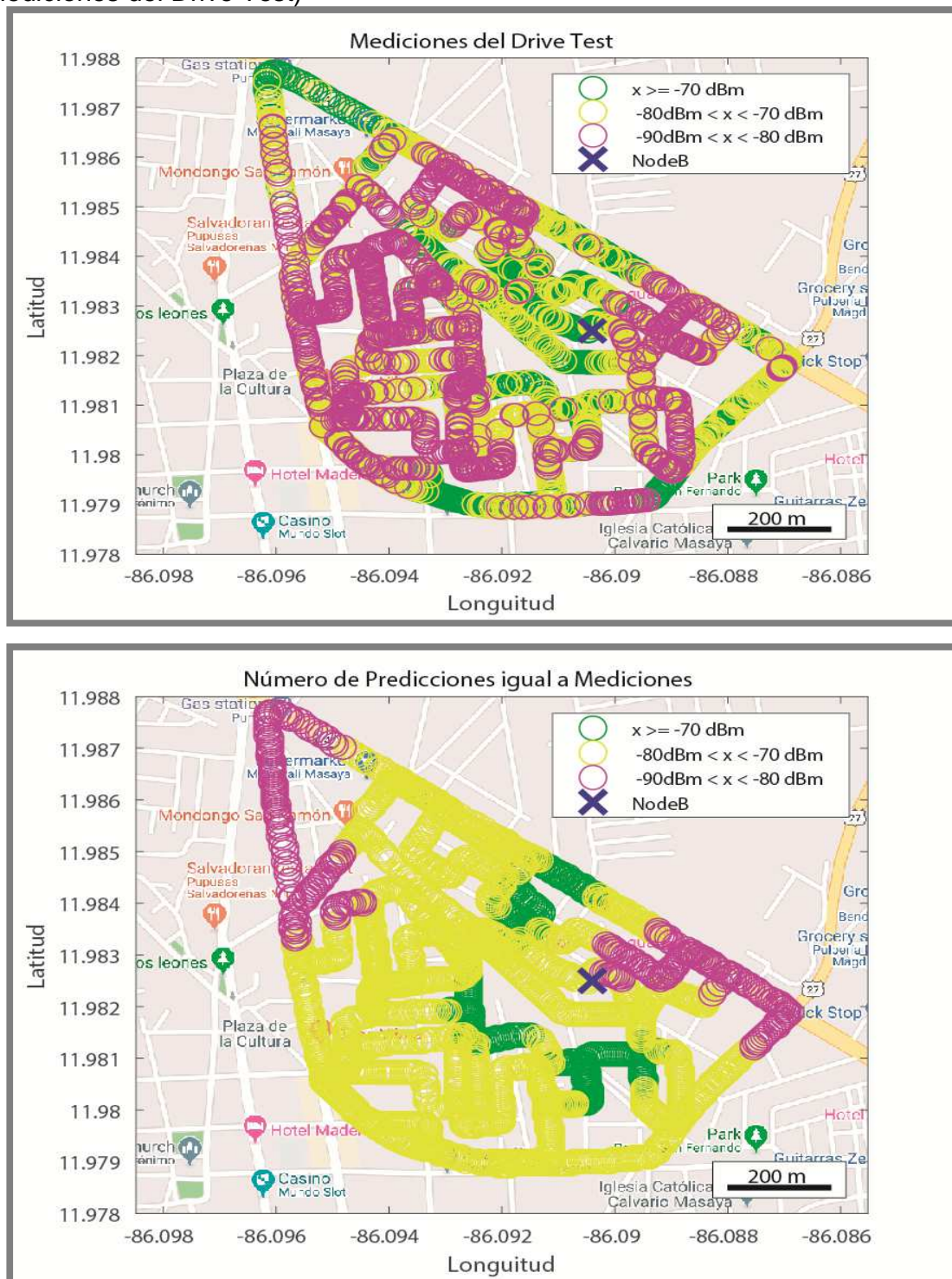


Figura 35. Drive Test Vs Calibración

## **5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

En este trabajo monográfico presentamos un modelo de calibración stand alone para un sistema WCDMA para la banda de 850 MHz. El desarrollo de este modelo constó de 3 etapas.

En la primera etapa, se montó una red 3G en la herramienta de planificación Atoll, para esto se obtuvo información de la red existente en la ciudad de Masaya. Posteriormente, con esta red, se obtuvieron las predicciones que son base fundamental en el desarrollo del método de calibración. Además de las predicciones, es necesaria la recaudación de muestras reales para poder hacer la comparación de las mismas en nuestro método de calibración.

De esta manera, paralelamente se realizó una campaña de recolección de datos o drive test que nos permitió obtener los resultados de las mediciones que también son el punto de partida de nuestro método de calibración. Los datos recaudados del drive test fueron procesados en la herramienta llamada Actix Analyzer, que nos permitió extraer las muestras en tiempo real que arrojo el drive test.

La siguiente etapa fue el desarrollo del algoritmo de calibración el cual utiliza las predicciones y mediciones como factor principal para su desarrollo. Teniendo esta información procedimos a realizar un muestreo uno a uno, es decir, por cada predicción encontramos la medición más cercana en términos de distancia. Una vez realizado esto, encontramos el error promedio y la desviación estándar en términos de RSCP del modelo sin calibrar para dar pauta a encontrar los nuevos K set que nos permitieron manipular los parámetros del modelo a calibrar. Este nuevo K set lo introducimos en el modelo a calibrar en Atoll obtuvimos nuevas predicciones que también comparamos con las mediciones obtenidas por el drive test.

Resultando la reducción del error promedio de un 98%, sin calibrar obtuvimos un error de 6.9721 dBm y al introducir el nuevo k set obtuvimos un error de 0.10018 dBm. Esto demuestra que el método de Calibración para un sistema WCDMA en la banda de los 850 MHz ha sido funcional.

## 5.2 Recomendaciones

Para nuestro método de Calibración del SPM recomendamos lo siguiente:

Optimización del código debido a que hay unas etapas del método de calibración que hace que la carga computacional sea demasiado amplia. La carga computacional se debe optimizar en la etapa de Comparación de las muestras y en la etapa de búsquedas de nuevos K set.

Mejorar el número de muestras a la hora de hacer el drive test porque apenas se recaudaron 3,500 muestras.

Replicar el ejercicio que realizamos para el sitio Nodo B en Masaya y llevarlo a cabo en otros sitios de la misma red.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Gorricho M., Gorricho J. L. (2002). *Comunicaciones móviles*. Barcelona: Edicions UPC.

[2] Lingyang, S., & Jia, s. (2011). *Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE*. Boca Raton: CRC Press.

[3] Departamento de comunicación de la CMT. (2010). *Conceptos básicos de Telecom: Del GSM al LTE*. Obtenido en:

<http://blogcmt.com/imprescindibles/conceptos-basicos-de-telecos>

[4] Agustí R., Bernardo F., Casadevall F., Ferrús R., Pérez J., Sallent O. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Barcelona: Fundación Vodafone España.

[5] Ocaña, S. (2002). <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/7/telefonía-celular-movil-funcionamiento-generaciones-24457.pdf>

[6] Forsk, ATOLL 3.2.0 Radio Planning & Optimization Software User Manual, France. Available online: [www.forsk.com](http://www.forsk.com).

[7] Drive Test.

<http://www.telecomhall.com/es/que-es-drive-test-testing-de-rf.aspx>

[8] Tipos de Drive Test

<ftp://labeledc.uniandes.edu.co/Especializaciones/Telecomunicaciones/HERRAMENTA%20AUTOM%20XA%20ANALISIS%20CALIDAD%20SERV.%20REDES%20GSM%20BASANDOSE%20EN%20DATOS%20OBTENIDOS%20EN%20DRIVE%20TEST/Documet%20Jorge%20Cardenas.pdf>

[9] Pilot RCU

<http://www.dingli.com/?view=products&pk=21#>

[10] A. Mousa, Y. Dama, M. Najjar, B. Alsayeh, "Optimizing Outdoor Propagation Model based on Measurements for Multiple RF Cell", *International Journal of Computer Applications* (0975-8887) Volume 60- No5, December 2012.

[11] Inman, James (1835) [1821]. *Navigation and Nautical Astronomy: For the Use of British Seamen* (3 ed.). London, UK: W. Woodward, C. & J. Rivington. Retrieved 2015-11-09. (Fourth edition: [1]).

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo 1: Planificación de Vecinas:

<b>Distancia máxima entre vecinas</b>	4000 m
<b>Máximo número de vecinas</b>	16
<b>Probabilidad de cobertura en el borde de la celda</b>	85 %
<b>Margen RSRP</b>	5 dB
<b>Mínimo de Área cubierta</b>	10 %

- El Margen RSRP establece un margen de histéresis entre la zona de cobertura de la celda servidora y las celdas vecinas.
- El mínimo de área cubierta representa el porcentaje de solapamiento que debe haber entre dos celdas para que se consideren vecinas por el algoritmo utilizado.
- Además de estos parámetros, cabe acotar que las celdas ubicadas en un mismo transmisor (mismo emplazamiento) también son consideradas como vecinas.

A continuación se puede observar en la siguiente figura la elección de vecinas de una determinada celda:

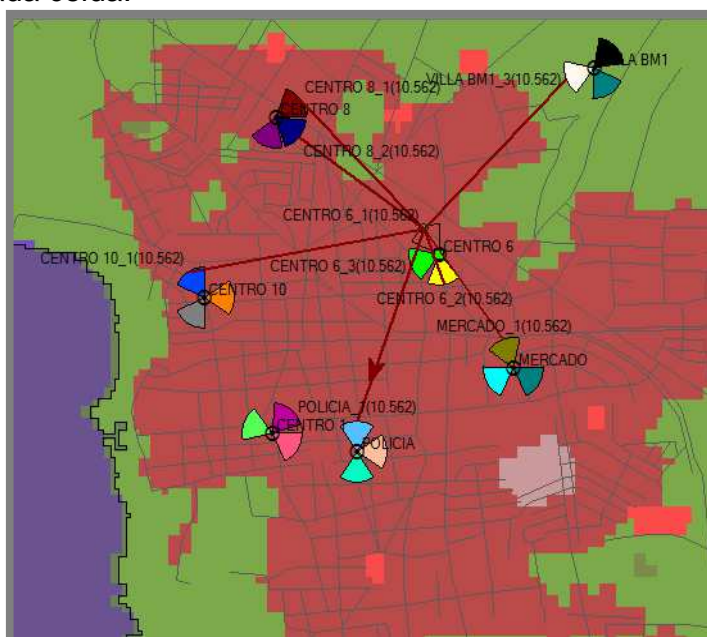


Figura 36. Planificación de Vecinos en Atoll

## 7.2 Anexo 2: Mediciones de Campo o Drive Test



Imagen 37. Nodo B en la ciudad de Masaya